

Reinwarth, Eric

Entwicklung und Konstruktion einer neuen Baureihe von  
Spiralwindemaschinen.

eingereicht als

Diplomarbeit

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Maschinenbau & Feinwerktechnik

Chemnitz, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr. – Ing. Krämer

Zweitprüfer: Dr. – Ing. Kieselstein

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am: 13.10.2009

## **Vorwort**

Diese Diplomarbeit soll grundlegende Fragen bei der Produktion von Drahtspiralen klären. Dabei wird eine Analyse der Produktionstechnik vorgenommen, welche als Grundlage für weitere Analysen genutzt werden können. Außerdem stellt diese Arbeit einen Leitfaden zur prinzipiellen Auslegung von Spiralwindemaschinen dar. Eine zielgerichtete und reproduzierbare Produktion ist mit Hilfe dieser Arbeit möglich.

Diese Arbeit enthält Formeln und Rechenbeispiele die Drahtverarbeitung betreffend. Das Thema der Drahtverformung mittels Biegen ist noch ein recht unberührtes Feld, welches durch diese Arbeit etwas eingehender beleuchtet wird.

Die betriebswirtschaftliche Betrachtung in dieser Arbeit ist auf die KIESELSTEIN Group zugeschnitten. Somit sind die enthaltenen Erkenntnisse nur beschränkt allgemein gültig. Sie bedürfen einer genauen Interpretation der Rahmenbedingungen um diese korrekt beurteilen zu können.

Im Anhang finden sich alle Tabellen und Daten, die zur Erstellung dieser Arbeit genutzt wurden.

Für die Möglichkeit, diese Arbeit schreiben zu können, gebührt in erster Linie Herrn Dr. - Ing. Kieselstein Dank. Des Weiteren soll hiermit Herrn Dipl-Ing Weinrich, Techniker St. Clauß und Herrn Walther der Dank für ihre Unterstützung ausgesprochen werden. Allen Mitarbeitern und Monteuren gebührt ebenfalls Dank.

## **Bibliographische Beschreibung**

Reinwarth, Eric:

Entwicklung und Konstruktion einer neuen Baureihe von Spiralwindemaschinen.-  
2009. 80S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau & Feinwerktechnik,  
Diplomarbeit

2009

Referat:

Ziel der Diplomarbeit ist es eine Spiralwindemaschine neu zu konzipieren. Dabei sind eine Analyse der vorhandenen Produktionstechnik und die Prüfung der Wirtschaftlichkeit möglicher Varianten von fundamentaler Bedeutung. Es soll geklärt werden, welche Funktionen eine Spiralwindemaschine erfüllen muss. Im Rahmen dieser Betrachtung werden Optimierungsmöglichkeiten gesucht, um die Kosten zu senken, bei gleichzeitiger Steigerung der Produktivität. Alle Erkenntnisse sind in einem Lastenheft dokumentiert. Für ein Unternehmen ist der wirtschaftliche Aspekt von immenser Bedeutung. Dazu ist im Rahmen einer wirtschaftlichen Analyse ein Variantenvergleich mit Analyse der Kosten, vorzunehmen. Anhand der Analyseergebnisse wird eine Entscheidung zur Form einer Baureihe von Spiralwindemaschinen bezüglich der zu konstruierenden Variante getroffen, die insbesondere den Zusammenhang von Wirtschaftlichkeit und moderner Technologie und deren Möglichkeiten berücksichtigt..

## Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	V
II.	Tabellenverzeichnis	VII
III.	Diagrammverzeichnis	VIII
IV.	Symbolverzeichnis	IX
1.	Einleitung	1
1.1.	Die KIESELSTEIN Group	1
2.	Analyse der vorhandenen Produktionstechnik	2
2.1.	Spiralwindemaschine	3
2.2.	Technische Daten	5
2.3.	Produktdefinition	6
2.4.	Bedienung der Spiralwindemaschine	7
2.5.	Erstellen einer Werksnorm	8
2.6.	Einrichten und Produzieren mit der Spiralwindemaschine	9
2.6.1.	Einrichten neuer Werkzeuge	10
2.6.1.1.	Geometrie des Messers	10
2.6.1.2.	Geometrie der Schnecke	13
2.6.2.	Weitere Produktrelevante Parameter	14
2.7.	Untersuchung der vorhandenen Produktionstechnik anhand der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG	15
2.7.1.	Risikobeurteilung	15
2.7.2.	Grundsätze für die Integration der Sicherheit	19
2.7.3.	Materialien und Produkte	19
2.7.4.	Bedienungsplätze	19
2.7.5.	Stellteile	20
2.7.6.	Ingangsetzen, Stillsetzen, betriebsbedingtes Stillsetzen	20
2.7.7.	Betriebs- und Steuerungsart	20
2.7.8.	Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefährdung	21
2.7.9.	Ausrutsch-, Stolper- und Rutschrisiko	22
2.7.10.	Informationen und Warnhinweise an der Maschine	22
2.7.11.	Kennzeichnung der Maschine	23
2.7.12.	Betriebsanleitung	23
2.8.	Abschließende Bemerkung	23

3. Versuche und Berechnungen zu der Maschine	24
3.1. Berechnungen (notwendige Motorleistung)	24
3.1.1. Berechnung des erforderlichen Momentes zum Biegen des Draht	24
3.1.1.1. Berechnung des elastischen Biegemomentes	26
3.1.1.2. Berechnungen des plastischen Biegemomentes	28
3.1.2. Berechnung des Torsionsmomentes	29
3.1.3. Bestimmung der Reibverhältnisse und Reibkräfte	30
3.1.4. Zusammenfassung	32
3.1.5. Beurteilung der Ergebnisse unter Einbeziehung der Momentmessung unter Punkt 3.2.3.	33
3.1.6. Berechnung der notwendigen Motorleistung	35
3.2. Versuche	36
3.2.1. Zugversuch	36
3.2.2. Ermittlung der Drahtvorspannung	40
3.2.3. Momentmessung am Messer	43
3.2.3.1. Vorbereitung der Messung mit Aufbau der Messanordnung	44
3.2.3.2. Durchführung der Messung	46
3.2.3.3. Auswertung	48
4. Erarbeitung eines Lastenheftes	52
4.1. Grundlagen eines Lastenheftes	52
4.2. Lastenheft	53
5. betriebswirtschaftliche Betrachtung	58
5.1. Betriebszeit der Maschine	59
5.2. Kosten einer neuen Maschine	63
5.3. Verbesserung der Maschine	67
5.4. Abschließende Bewertung	67
6. Erarbeitung eines Baureihenkonzeptes	69
7. Konstruktion von Komponenten einer Spiralwindemaschine	70
7.1. Konstruktion und Auslegung einer Ablaufrinne	70
7.2. Konstruktion Schneckenaufnahme	75
8. Ausblick	78
8.1. Offen gebliebene und nicht behandelte Probleme	78
8.2. Neu erkannte Probleme	79

V.	Glossar	XII
VI.	Literaturverzeichnis	XIV
VII.	Anlagenverzeichnis	XVII
VIII.	Eidesstattliche Erklärung	XLIII

## **I. Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1	KIESELSTEIN Komponenten GmbH	1
Abb. 2	Spiralwindemaschine	3
Abb. 3	Spiralwindemaschine	3
Abb. 4	Windewerkzeuge (Messer und Schnecke)	4
Abb. 5	Flechtschnecke	4
Abb. 6	eingebaute Windewerkzeuge	4
Abb. 7	Querschnitt Schnecke	5
Abb. 8	Bedienpult einer Spiralwindemaschine	7
Abb. 9	Richtwerk für die Drahtvorspannung	7
Abb. 10	Verwundenes Messer	10
Abb. 11	Spirale (ungewundenes Messer)	10
Abb. 12	Spirale (optimal gewundenes Messer)	10
Abb. 13	Querschnitt Schnecke	13
Abb. 14	Richtwerk für die Drahtvorspannung	14
Abb. 15	Drahteinlauf	14
Abb. 16	Spiralwindemaschine	15
Abb. 17	Behälter für Kühl-, Schmierstoff	22
Abb. 18	Drahtablauf	22
Abb. 19	Spannungsbereiche im Querschnitt beim Drahtbiegen	26
Abb. 20	Geometrie des Drahtbiegens	26
Abb. 21	Schnecke im Querschnitt	30

Abb. 22 Apparatur Zugversuch	36
Abb. 23 Apparatur Zugversuch	36
Abb. 24 digitaler Federkraftmesser	40
Abb. 25 Richteinheit zum Drahtvorspannen (Rückseite)	41
Abb. 26 Richteinheit zum Drahtvorspannen (Vorderseite)	41
Abb. 27 Messanordnung	43
Abb. 28 Messer mit appliziertem DMS – Streifen	43
Abb. 29 X – Rosette	44
Abb. 30 Wheatstonesche Brücke	44
Abb. 31 Applizierung von 2 DMS – Streifen	45
Abb. 32 Anschlussplan des Datenkabel an DMS – Streifen und Sub - D - Stecker	45
Abb. 33 Messanordnung	46
Abb. 34 Schema einer Maschine	63
Abb. 35 Ablaufrinne mit geöffnetem Boden	70
Abb. 36 Ablaufrinne geschlossen	70
Abb. 37 Pneumatikschaltplan Ablaufrinne	71
Abb. 38 Werkzeugaufnahme mit Schnecke	75
Abb. 39 Werkzeugaufnahme mit Schneckenwechsel	76

## II. Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Definition Weitspiralgliederbänder	6
Tab. 2	Definition Engspiralgliederbänder	6
Tab. 3	Tabelle zur Ermittlung des Rückfederungsfaktor $k_R$	11
Tab. 4	Projektdaten (Risikobeurteilung)	15
Tab. 5	Grenzen der Maschine (Risikobeurteilung)	16
Tab. 6	Räumliche Grenzen (Risikobeurteilung)	16
Tab. 7	Zeitliche Grenzen (Risikobeurteilung)	16
Tab. 8	Weitere Grenzen (Risikobeurteilung)	16
Tab. 9	Risikobeurteilung	17/18
Tab. 10	Geometriedaten zur Schneckengröße	30
Tab. 11	Werte zur Messung der Drahtvorspannung	41
Tab. 12	Lastenheft Musskriterien	54
Tab. 13	Lastenheft Sollkriterien	55
Tab. 14	Lastenheft Kannkriterien	56
Tab. 15	Lastenheft Abgrenzungskriterien	56
Tab. 16	Geometriedaten zu Bandausführungen	58/59
Tab. 17	Betriebszeiten	61
Tab. 18	Betriebszeit: „kleine“ Maschine	62
Tab. 19	Betriebszeit: „große“ Maschine	62
Tab. 20	Kosten Antrieb mit Gehäuse und Schmierung	64
Tab. 21	Kosten Ablaufrinne	64
Tab. 22	Kosten Drahtablauf	65
Tab. 23	Kosten Werkzeugaufnahme	65
Tab. 24	Kosten Elektrik	65



### **III. Diagrammverzeichnis**

Diag. 1	Spannungs – Dehnungsdiagramm	38
Diag. 2	Momentverlauf bei 80U/min	47
Diag. 3	Momentverlauf bei 120U/min	47
Diag. 4	Momentverlauf bei 80U/min, dreifach geteilt	48
Diag. 5	Momentverlauf bei 80U/min, 1. Bereich	49
Diag. 6	Momentverlauf bei 80U/min, 2. Bereich	50
Diag. 7	Momentverlauf bei 80U/min, 3. Bereich	51

## IV.Symbolverzeichnis

$A_0$	.....	Ausgangsquerschnitt
$A$	.....	wirksame Kolbenfläche
$d_0$	.....	Ausgangsdurchmesser
$d_D$	.....	Drahtdurchmesser
$d_{Fl}$	.....	Flankendurchmesser
$d$	.....	Kolbenstangendurchmesser
$D$	.....	Zylinderdurchmesser
$E$	.....	Elastizitätsmodul
$F_{uw}$	.....	untere Kraft (Berechnung der wahren Spannung)
$F_{ow}$	.....	obere Kraft (Berechnung der wahren Spannung)
$F_R$	.....	Reibkraft
$F_{ax}$	.....	axiale Kraft
$F_{vs}$	.....	Vorspannkraft
$l_0$	.....	Ausgangslänge
$K_R$	.....	Rückfederungsfaktor
$M_{nG}$	.....	notwendiges Gesamtmoment
$M_{el}$	.....	elastische Moment
$M_{pl}$	.....	plastisches Moment
$M_{FR}$	.....	Reibmoment
$M_{Dz}$	.....	Moment zum Drahtziehen
$M_{ges}$	.....	Gesamtmoment
$n$	.....	Drehzahl
$P$	.....	Leistung
$p$	.....	Steigung
$p_e$	.....	Betriebsdruck im System
$p_{amb}$	.....	Luftdruck
$R_Z$	.....	Oberflächenrauheit

$R_e$	Streckgrenze
$R_K$	Krümmungsradius an der neutralen Faser
$R_i$	Krümmungsradius an der Werkstückinnenseite
$r_a$	Werkstückaußenradius
$r_2$	Biegeradius (Radius am Werkstück nach der Rückfederung)
$r_s$	Schneckenradius
$s_{uw}$	untere Längung des Probekörpers (Berechnung der wahren Dehnung)
$s_{ow}$	obere Längung des Probekörpers (Berechnung der wahren Dehnung)
$s$	Kolbenhub
$T$	Torsionsmoment
$u$	Längsverschiebung
$V_M$	Verfestigungsmodul
$\dot{V}$	Volumenstrom
$v$	Anzahl der Kolbenwege
$W_p$	polares Widerstandsmoment
$z_{el}$	Grenze des elastischen Querschnittsbereichs
$b_{(z)}$	Querschnittbreite
$\alpha$	Steigungswinkel
$\alpha_{us}$	Umschlingungswinkel
$\alpha_R$	Rückfederungswinkel
$\alpha_1$	Biegewinkel vor der Rückfederung
$\alpha_2$	Biegewinkel
$\beta$	Flankenwinkel
$\sigma_f$	Fließspannung
$\sigma_{uw}$	untere Fließspannung (wahre Fließspannung, Verfestigungsmodul)
$\sigma_{ow}$	obere Fließspannung (wahre Fließspannung, Verfestigungsmodul)
$\epsilon_{uw}$	untere Dehnung (wahre Dehnung, Verfestigungsmodul)

$\epsilon_{ow}$ .....	obere Dehnung (wahre Dehnung, Verfestigungsmodul)
$\epsilon_A$ .....	absolute Dehnung
$\epsilon_{1,2,3,4}$ .....	Dehnungen in Abhängigkeit vom Widerstand
$\varphi_{el}$ .....	Winkel des elastischen Querschnitts
$\tau_{zul}$ .....	zulässige Torsionsspannung
$\mu$ .....	Haftreibungszahl
$\mu_{RF}$ .....	Reibfaktor
$\omega$ .....	Winkelgeschwindigkeit

## 1. Einleitung

### 1.1. Die KIESELSTEIN Group



Abb. 1 KIESELSTEIN Komponenten GmbH

Die KIESELSTEIN Group hat ihren Ursprung in der Gründung der KIESELSTEIN GmbH im Jahr 2002 in Chemnitz durch Herrn Dr. - Ing. Kieselstein. Mit ihr wurde das komplette Produktprogramm von Herbron+Breitenbach, SKET Drahtziehmaschinenwerke u.a. übernommen. Somit war der Grundstein für eine erfolgreiche und innovative Herstellung und Entwicklung von Drahtziehmaschinen in Chemnitz durch Herrn Dr. - Ing. Kieselstein gelegt. Durch zielstrebiges und ehrgeiziges Arbeiten konnte Herr Dr. - Ing. Kieselstein im Jahr 2004 schon bald ein zweites Standbein gründen, die KIESELSTEIN International GmbH. Im folgenden Jahr 2005 wurden die Industriesiebe und Drahtförderbänder Dresden GmbH übernommen. Diese wurde der nun entstandenen KIESELSTEIN Group unter dem Namen KIESELSTEIN Industriesiebe und Drahtförderbänder GmbH eingegliedert. 2007 kam die bis dato letzte GmbH zur KIESELSTEIN Group hinzu. Hierbei handelt es sich um die KIESELSTEIN Automatisierungstechnik GmbH. Im Jahr 2009 wurde die KIESELSTEIN Industriesiebe und Drahtförderbänder GmbH aufgrund einer Umstrukturierung zur KIESELSTEIN Komponenten GmbH umbenannt.

Heute beschäftigt das Unternehmen ca. 35 Angestellte und ist Weltmarktführer im Bereich der Drahtzieh- und Schälanlagen. Im Aufbau und der Modernisierung befinden sich derzeit die KIESELSTEIN Komponenten GmbH, die die Drahtförderbandproduktion beinhaltet.

Als weiteres Ziel des Geschäftsführers Herrn Dr. - Ing. Kieselstein steht die Etablierung eines Forschungszentrums für Draht in Chemnitz. Zu diesem Zweck ist eine eigene Abteilung in Form einer Forschungs- und Entwicklungsabteilung in Chemnitz in Betrieb.

## **2. Analyse der vorhandenen Produktionstechnik**

In diesem Kapitel werden die Funktionsweise, technischen Daten und die Sicherheit der vorhandenen Produktionstechnik eingehend betrachtet.

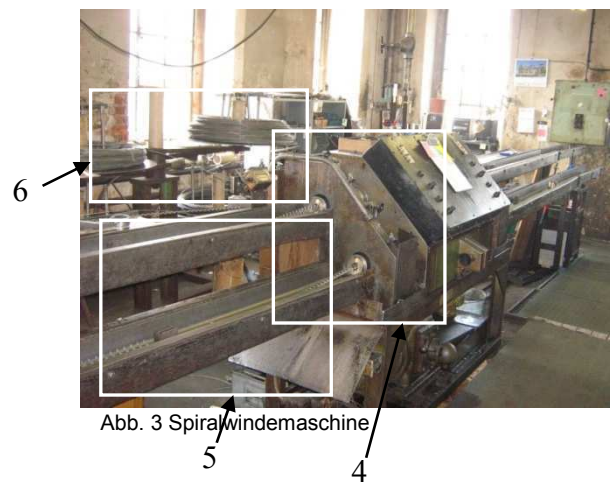
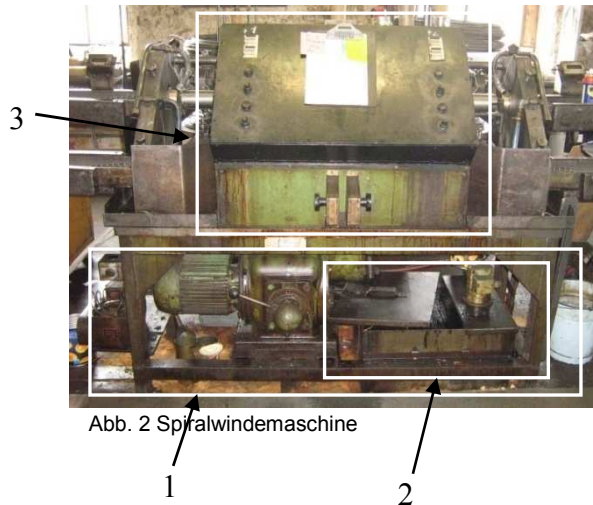
Um eine Beurteilung der bestehenden Produktionstechnik durchführen zu können, muss diese umfassend analysiert werden. Hierbei werden alle technischen Parameter und die Fertigungsbedingungen geprüft. Die Erkenntnisse werden im weiteren Verlauf als Grundlage für eine Verbesserung / Neuentwicklung genutzt. Des Weiteren sollen mittels dieser Analyse alle Parameter die für die Qualität der zu produzierenden Spirale wichtig sind, erkannt werden. Um ein reproduzierbares Produkt mit definierten Eigenschaften in Form und Toleranz zu erhalten, müssen Rahmenbedingungen in Form einer Werksnorm festgelegt werden.

Die Analyse erfolgt anhand der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Dabei wird die aktuelle Produktionstechnik bezüglich der Maschinensicherheit, Ergonomie und Bedienbarkeit geprüft.

Abschließend wird eine zusammenfassende Bewertung mit einer ersten Einschätzung getroffen.

## 2.1. Spiralwindemaschine

Im Folgenden wird eine Erklärung der Spiralwindemaschine vorgenommen.



Bei der auf der Abb.2 und Abb.3 dargestellten Spiralwindemaschine handelt es sich um die mittlere Ausführung. Die verschiedenen Ausführungen (klein, mittel, schwer) unterscheiden sich lediglich durch ihre räumliche Größe und die unterschiedlichen Leistungen der Antriebe.

Der grundlegende Aufbau sieht wie folgt aus:

1. Unterbau mit Antrieb
2. Kühlung/Schmierung
3. Getriebegehäuse
4. Werkzeuge, Werkzeughalterung
5. Auffangvorrichtung
6. Drahtabläufe (Drahthaspel)

Diese Maschine weist vier Spindeln auf, die unabhängig voneinander zur Produktion von Drahtspiralen, genutzt werden können.

Das Grundprinzip der Maschine ist simpel. Der Antrieb (Elektromotor) treibt die vier Spindeln über ein zwischengeschaltetes Getriebe an. Durch Rutschkupplungen ist es dem Bediener möglich, alle vier Spindeln separat anzusteuern und somit in den Prozess einzubinden. Der Behälter für die Kühlung/Schmierung dient zur Aufbewahrung des Kühl-, Schmierstoffes. Mithilfe einer Pumpe wird dieser an die Stelle(n) gefördert, an der das Mittel benötigt wird. Das sind in erster Linie die Werkzeuge. Bei der Herstellung von

Spiralen aus Draht treten zwischen dem Draht, der Schnecke und dem Messer hohe Reibungskräfte auf, welche zum einen in Reibungswärme umgewandelt werden und zum anderen zur Abnutzung des Messers und der Schnecke führen. Um dem vorzubeugen wird eine Kühlung/Schmierung benötigt.

Im Folgenden wird der Produktionsprozess mit Hilfe der verschiedenen Abbildungen näher erläutert. Es handelt sich hierbei um Werkzeuge zur Herstellung von Weitspiralen.

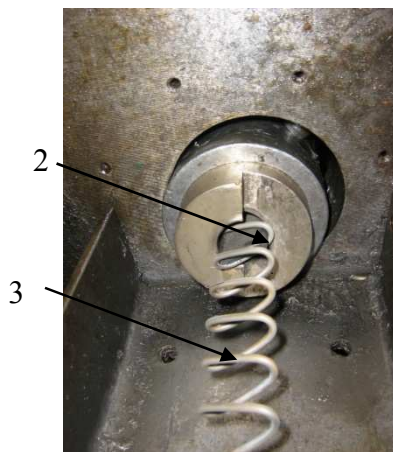


Abb. 4 Windewerkzeug



Abb. 5 Flechtschnecke

Die Abbildungen zeigen die für den Herstellungsprozess notwendigen Werkzeuge:

1. Flechtschnecke (Abb. 5)
2. Messer (Abb. 4)
3. Draht

Das Messer wird an der Antriebswelle fest eingespannt. Diese Welle wird von einem Elektromotors angetrieben.

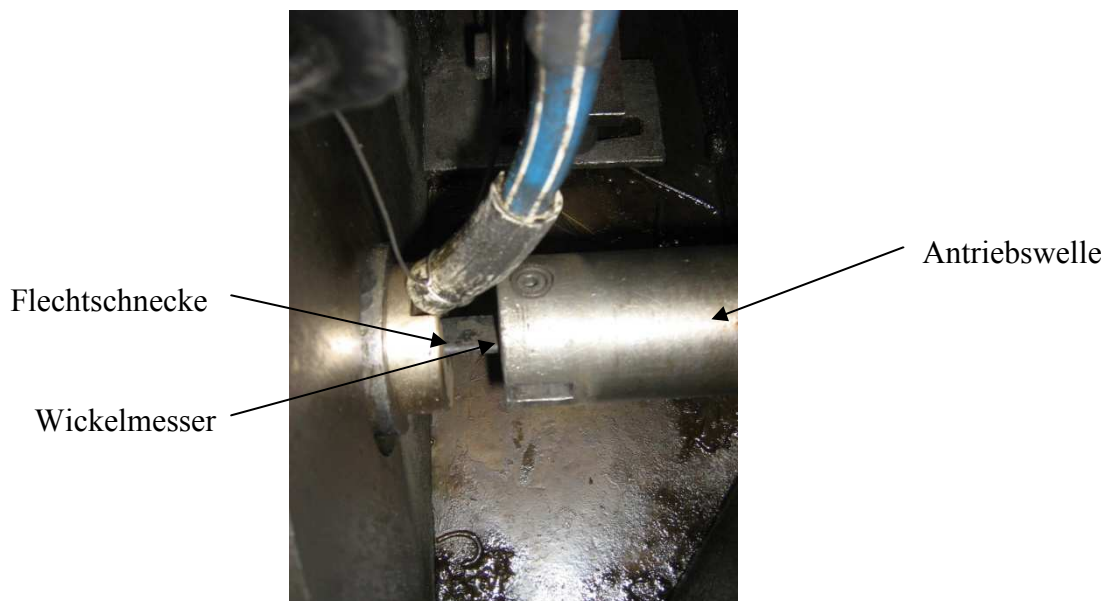


Abb. 6 Eingebaute Windewerkzeuge



Dem Messer gegenüber sitzt die Flechtschnecke. Diese ist in ihrer Position arretiert. Das Messer wird in die Öffnung der Flechtschnecke geführt.

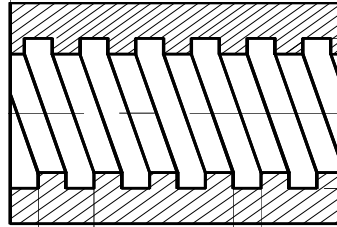


Abb. 7 Querschnitt Schnecke

Die Flechtschnecke ist mit einem Innengewinde versehen, dessen Steigung die Form der damit produzierten Drahtspirale bestimmt. Nun wird der Draht um das Flechtmesser gewickelt und durch die Flechtschnecke geführt. Durch das Innengewinde wird der Draht gefördert, wodurch der Vorschub realisiert wird. Die geometrischen Anforderungen an die Spirale werden durch die Form und Verwindung des Messers sowie der Geometrie des Innengewindes (Steigung) beeinflusst.

## 2.2. Technische Daten

Die im Folgenden angegebenen technischen Daten basieren auf den noch vorhandenen technischen Unterlagen. Da es fast keine Aufzeichnungen zu diesem Maschinentyp gibt, war es schwierig, alle wichtigen Daten zur bestehenden Produktionstechnik exakt zu ermitteln. Aus diesem Grund sollen diese Daten lediglich als Anhaltspunkt für die neue Auslegung/Berechnung der Maschine dienen.

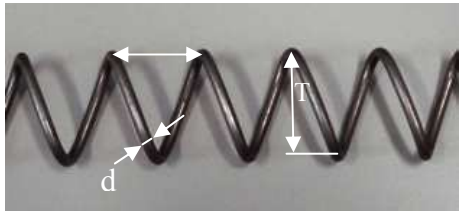
Folgende Angaben beziehen sich auf eine 4-spindlige Spiralwindemaschine, leichte Ausführung, mit der Inventarnummer 312.

Platzbedarf:	6600 x 2800 mm
Gewicht der Maschine:	1,5t
Leistung des Motors:	4KW
Drehzahl:	1440U/min
Arbeitsdrehzahlen:	80 - 400U/min
Getriebe:	6-stufiges Schaltgetriebe
Größte Arbeitslänge:	2000mm
Drahtdurchmesser:	Ø0,8 – Ø2,8mm

## 2.3. Produktdefinition

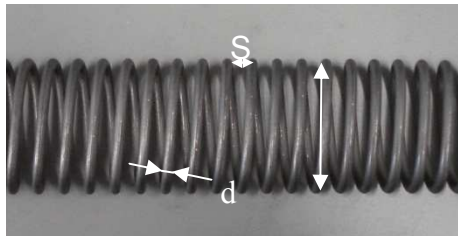
In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Spiralen gegeben, die gegenwärtig mit der vorhandenen Produktionstechnik produziert werden.

### Weitspirale

Gruppe 300 Gruppe 400  S = Steigung T = Teilung	
Gruppe 300 Weitspiralflachdrahtgliedergerute	bestehend aus abgeflachtem Draht S = 4 - 30,5mm T = 10 – 33mm Drahtdurchmesser d: 1,2 – 2,8mm
Gruppe 400 Weitspiralrunddrahtgliedergerute	bestehend aus Runddraht S = 4 - 30,5mm T = 10 – 33mm Drahtdurchmesser d: 1,2 - 2,8mm

Tab. 1 Definition Weitspiralgliederbänder

### Engspirale

Gruppe 100 Gruppe 200  S = Steigung T = Teilung	
Gruppe 100 Engspiralfachdrahtgliedergerute	bestehend aus abgeflachtem Draht S = 2,5 – 10mm T = 13 – 50,8mm Drahtdurchmesser d: 1,2 – 7mm
Gruppe 200 Engspiralsrunddrahtgliedergerute	bestehend aus Runddraht S = 2,5 – 10mm T = 13 – 50,8mm Drahtdurchmesser d: 1,2 – 7mm

Tab. 2 Definition Weitspiralgliederbänder

## 2.4. Bedienung der Spiralwindemaschine

Die Bedienung der Maschine erfolgt über ein Bedienpult. (siehe Abb.8)



Abb. 8 Bedienpult einer Spiralwindemaschine

- 1 – mechanischer Zähler
- 2 –Taster zum Nullsetzen der Zähler
- 3 – Taster zum Umschalten zwischen Rüstbetrieb und Dauerbetrieb

Die Maschine nutzt zur Produktion vier Wellen. Aus diesem Grund gibt es auch je vier mechanische Zähler, vier Taster zum Nullsetzen der Zähler und vier Taster zum Umschalten zwischen den Betriebsarten.

Weiterhin wird durch den Bediener die Drahtvorspannung eingestellt, die über ein Richtwerk (siehe Abb.10) geregelt wird



Abb. 9 Richtwerk für die Drahtvorspannung

Durch Verstellen der Höhe der Führungsrollen zueinander wird die Drahtvorspannung erhöht bzw. verringert.

## 2.5. Erstellen einer Werksnorm

Gegenwärtig gibt es keine zusammenhängenden, festgelegten Vorgaben bezüglich Geometrie und Qualität der zu produzierenden Spiralen. Diese Vorgaben sind jedoch von großer Bedeutung zur Beurteilung der vorhandenen Produktionstechnik und für die Auslegung von neuen Maschinen bzw. Maschinenserien. Des Weiteren benötigt man eine solche Werksnorm um bestimmen zu können, welche Parameter an der vorhandenen Maschine verstellt werden und wie sich diese auf das Endergebnis auswirken. Durch eine Standardisierung der Spiralen können genauere Aussagen zur Qualität, zur Quantität der Maschine und zu den entstehenden Kosten für die Produktion getroffen werden.

Auf Basis einer Analyse der bestehenden Produkte soll ein Werkzeug in Form einer Tabelle erstellt werden, das es dem Unternehmer ermöglicht, Kosten wie: Lager, Material, Maschinenkosten, Produktionskosten usw. in Abhängigkeit von der Qualität abzuschätzen. Es ist zu beachten, dass eine solche Werksnorm weiter ergänzt werden muss und einer stetigen Aktualisierung bedarf.

Die benötigten Daten wurden aus der Analyse vorhandener Produkte gewonnen, die in Form von Mustern im Archiv vorliegen. Diese Produkte wurden gewogen und ausgemessen und die so gesammelten Daten in einer EXCEL-Tabelle erfasst. Diese ermöglicht eine einfache und übersichtliche Sortierung der Daten. In Erweiterung dieser Tabelle wurden zusätzliche Daten zu den Geometrien der jeweils zugehörigen Windeschnecken aufgenommen. Daten zu den Förderbändern (Anzahl der Querstäbe, Anzahl der Windungen in Abhängigkeit der Bandbreite und der Bandlänge) wurden ebenfalls mit in der Tabelle erfasst. Auf Grundlage dieser Tabelle kann eine neue Produktion aufgebaut werden. Außerdem ermöglicht sie eine genaue Bestimmung der Zielqualität.

Ein Auszug aus der erstellten Werksnorm ist in der Anlage, Teil A – Anlage A1 – A2, zu finden.

## **2.6. Einrichten/Produzieren mit der Spiralwindemaschine**

Die Spiralwindemaschine wird in zwei Betriebsarten betrieben. Zum einen im Rüstbetrieb und zum anderen im Dauerbetrieb. Im Rüstbetrieb wird die Maschine eingerüstet. Das heißt, der Draht wird auf den Drahtablauf aufgelegt, anschließend durch das Richtwerk für die Drahtvorspannung gezogen. Um eine Spirale produzieren zu können, muss der Draht um das Messer gelegt und in die Schnecke geführt werden. Dabei wird der Rüstbetrieb genutzt. Hier wird die Welle mit Messer nur so lange angetrieben, wie der Taster 3 gedrückt wird. Dadurch wird es dem Bediener ermöglicht, den Draht um das Messer zu legen und diesen anschließend definiert in die Schnecke einlaufen zu lassen. Es ist zu beachten, dass der Draht tangential zum Gewindegang der Schnecke einläuft, da er sonst an der Gewindegangflanke ab geschert werden könnte. Nun kann eine Spirale produziert werden. Entspricht diese der geforderten Qualität, kann auf Dauerbetrieb geschaltet werden (mittels Taster 3). Dazu muss an dem Zähler 1 die richtige Anzahl der Windungen eingestellt werden. Das Signal erhält der Zähler über einen magnetischen Näherungsschalter, durch welchen eine Schalfahne rotiert. Diese ist mit der Antriebswelle verbunden, wodurch die Anzahl der Umdrehungen eins zu eins gemessen werden kann. Erreicht die Spirale ihre eingestellte Anzahl der Windungen und somit die gewünschte Länge, stoppt die Maschine automatisch. Die Spirale wird abgeschnitten aus der Führungsrinne entfernt. Durch Drücken des Tasters 2 wird das Zählwerk wieder auf Null gesetzt, wodurch ein neuer Produktionszyklus beginnt.

## 2.6.1. Einrichten neuer Werkzeuge

Das Einrichten neuer Werkzeuge wird anhand der Herstellung einer Spirale aus 2mm Draht erläutert. Dabei werden die Messergeometrie und die Geometrie der Schnecke genauer betrachtet.

### 2.6.1.1. Geometrie des Messers

Der Draht umschlingt das Messer während der Fertigung. Da das Messer in der Schnecke geführt ist in der sich ein Innengewinde befindet, wird der Draht im Verlauf der Rotation des Messers in der Schnecke gefördert. Dadurch entsteht der Vorschub der die Fertigungsgeschwindigkeit der Anlage bestimmt.

Um eine Spirale entsprechend der geforderten Qualität zu erhalten, muss das Messer wie in Abb.10 in sich gewunden sein.



Abb. 10 verwundenes Messer

Benutzt man ein ungewundenes Messer, so erhält man eine Spirale, die in sich stark verwunden ist. Zum besseren Verständnis sind in Abb.11 und Abb. 12 beide Spiraltypen gegenübergestellt.



Abb. 11 Spirale (ungewundenes Messer)



Abb. 12 Spirale (gewundenes Messer)

Ist das Messer im richtigen Winkel gewunden, so erhält man eine Spirale, die „steht“, das heißt, diese ist nicht in sich verwunden (siehe, Abb.12).

Daraus lässt sich folgende logische Schlussfolgerung ziehen: Die Verwindung des Messers hat einen direkten Einfluss auf die Geometrie der produzierten Spirale.

Es stellt sich nun die Frage, in welchem Zusammenhang die Verwindung des Messers zur Verdrehung der Spirale steht. Um diesen Zusammenhang zu erläutern wurde ein Ansatz über die Rückfederung beim Blechbiegen gewählt. Dieser besagt, dass bei jedem Biegevorgang eine materialabhängige Rückfederung eintritt.

Diese Rückfederung  $\alpha_R$  ist definiert durch:

$$\alpha_R = \alpha_1 - \alpha_2 \quad (1)$$

Den Biegewinkel  $\alpha_2$  wird durch folgende Gleichung bestimmt:

$$\alpha_2 = k_R \times \alpha_1 \quad (2)$$

Hierbei ist  $k_R$  der Rückfederungsfaktor. ( $\alpha_1$  beträgt  $180^\circ$ ) Dieser wird über das Verhältnis vom Biegeradius ( $r_2$ ) zu Drahtstärke ( $d_s$ ) ermittelt. Der entsprechende Wert für den Rückfederungsfaktor kann mittels Interpolation aus einer Tabelle entnommen werden.

Die weiteren Berechnungen beziehen sich auf eine Spirale, E30/ - / 2,0/ 4,0 bezogen. E steht für Engspirale, der Wert 30 bestimmt die Teilung, 2,0 definiert den Drahtdurchmesser und 4,0 den Querstabdurchmesser.

Der tatsächliche Biegeradius wurde an einer produzierten Spirale nachgemessen. Dabei wurde ein Wert von 4,5mm ermittelt.

Bestimmung des Verhältnisses von Biegeradius zu Drahtstärke:

$$\frac{r_2}{d_s} = \frac{4,5\text{mm}}{2\text{mm}} = 2,25 \quad (3)$$

Mit diesem Faktor kann aus folgender Tabelle 3 der Rückfederungsfaktor entnommen werden. [Literaturverzeichnis Punkt 10 Seite 6-12]

$r_2 : d_s$	$k_R$	1	1,6	2,5
X12 CrNi 18-8		0,98	0,98	0,97

Tab. 3 Ermittlung des Rückfederungsfaktors

Für ein Verhältnis von 2,25 erhält man über Interpolation einen Rückfederungsfaktor von 0,973. Setzt man diesen in Gleichung (2) ein, erhält man einen Biegewinkel von  $175,14^\circ$ . Durch einsetzen dieses Biegewinkels in Gleichung (1) erhält man den

Rückfederungswinkel von  $4,86^\circ$ . Das bedeutet, dass das Messer um  $4,86^\circ$  gewunden sein muss.

Die Länge der Verwindung hat auch noch einen Einfluss auf die gefertigten Spiralen. Dabei wurde folgender Ansatz gewählt und für diesen Fall bewiesen. Hierzu wurde ein Probemesser neu gewunden. Der Bereich auf dem Messer in der die Verwindung ist, ist auf 45mm Länge festgelegt. Nachdem das Messer soweit gewunden wurde bis die Spiralenqualität den Anforderungen entspricht, misst man die Verwindung des Messers aus. Diese beträgt auf einer Länge von ca. 45mm ca.  $45^\circ$ . Geht man von rund  $5^\circ$  Verwindung aus erkennt man, dass die  $45^\circ$  ein Vielfaches von  $5^\circ$  sind. Genauer das 9-fache von  $45^\circ$ . Bezieht man nun noch die Schneckenengeometrie mit in die Betrachtung ein, erkennt man, dass diese eine Steigung von 5mm aufweist. Somit steht die Verwindung des Messers im direkten Zusammenhang mit der Schneckenengeometrie.

Da diese Betrachtung nur für einen speziellen Fall durchgeführt wurde, muss überprüft werden, ob sich dieser Ansatz der Rückfederung, theoretisch und praktisch, auch auf andere zu produzierende Spiralen projizieren lässt. Zusätzlich ist eine weitergehende Überprüfung der Zusammenhänge von Schneckenengeometrie und Messergeometrie durchzuführen.



### 2.6.1.2. Geometrie der Schnecke

Die Schnecke dient zum einen der Führung des Messers und zum anderen dem Vorschub. Durch das Innengewinde der Schnecke wird der Draht geführt.

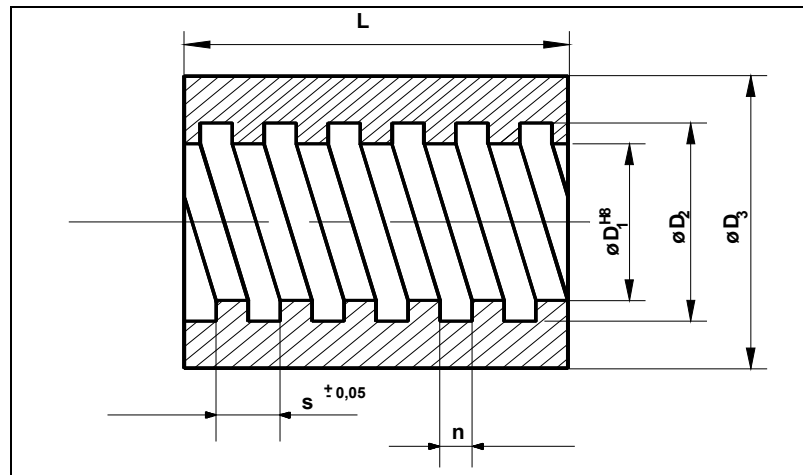


Abb. 13 Querschnitt Schnecke

- ⇒  $L$  = Breite der Schnecke
- ⇒  $s$  = Steigung der Schnecke
- ⇒  $n$  = Breite des Gewindeganges
- ⇒  $\varnothing D_1$  = Innendurchmesser der Schnecke
- ⇒  $\varnothing D_2$  = Durchmesser des Gewindeganges
- ⇒  $\varnothing D_3$  = Außendurchmesser der Schnecke

Die konkreten geometrischen Daten des Werkzeuges verändern sich in Abhängigkeit der zu produzierenden Spirale. (siehe hierzu Anlagen Teil A – Anlage A2)

### 2.6.2. Weitere Produktrelevante Parameter

Die Art des Innengewinde ist für die geforderte Spiralgeometrie relevant beeinflussend. Das Ergebnis, ob Weit- oder Engspiralen, wird durch die unterschiedlichen Steigungen des Innengewindes festgelegt.

Weiterhin ist die Lage, speziell die Lage der Windung, des Messers zum Innengewinde der Schnecke entscheidend. Ist diese nicht optimal gegeben, so läuft der Draht nicht sauber in die Schnecke ein, wodurch die Schnecke geschädigt werden kann. Als weitere Folge kann, wie schon bei einer falschen Windung des Messers, eine Verdrehung der Spirale auftreten.

Weitere Einstellmöglichkeiten bieten die Drahtvorspannung (Abb. 14) und die Position des einlaufenden Drahtes zur Schnecke (Abb. 15).



Abb. 14 Richtwerk für die Drahtvorspannung

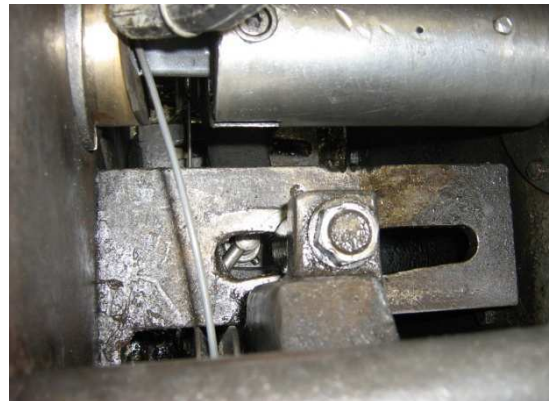


Abb. 15 Drahteinlauf

Durch eine Veränderung der Drahtvorspannung kann die Steigung beeinflusst werden. Durch eine Erhöhung der Vorspannung wird die Steigung vergrößert. Bei zu groß gewählter Vorspannung allerdings wird die Steigung wiederum geringer. Das bedeutet, dass man die Steigung nur in einem begrenzten Rahmen über die Vorspannung beeinflussen kann. (die Drahtvorspannung für E30/ - / 2,0/ 4,0 bewegte sich bei ca.130N, siehe hierzu Punkt 3.2.2.)

Die Position des Drahtes beim Einlauf zur Schnecke ist entscheidend, ob Eng- oder Weitspiralen gefertigt werden sollen. Für die Produktion von Engspiralen sollte der einlaufende Draht so nah wie möglich an der Schnecke einlaufen. Bei der Produktion von Weitspiralen kann der einlaufende Draht einen größeren Abstand zu der Schnecke haben. Dabei ist zu beachten, dass der Draht möglichst tangential zum Gewindegang einläuft um ein Abscheren an der Einlaufkante zu vermeiden.

## 2.7. Untersuchung der vorhandenen Produktionstechnik anhand der Maschinenrichtlinie 2006\42\EG

In diesem Kapitel wird die bestehende Produktionstechnik anhand der am 29.12.2009 in Kraft tretenden Maschinenrichtlinie 2006\42\EG analysiert. Im Ergebnis dieser Analyse wird eine Risikobeurteilung durchgeführt.

### 2.7.1. Risikobeurteilung

Als Hersteller einer Maschine ist man verpflichtet eine Risikobeurteilung durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Risikobeurteilung müssen bei der Konstruktion und beim Bau der Maschine berücksichtigt werden. Nachfolgend ist die Risikobeurteilung für die Spiralwindemaschine aufgeführt.

Projektdaten		
<b>Projektbezeichnung:</b>	Neukonstruktion einer Spiralwindemaschine Analyse der bestehenden Produktionstechnik	
<b>Produktbezeichnung:</b>	Spiralwindemaschine „mittlere Ausführung“	
<b>Hersteller-Adresse:</b>	unbekannt	
<b>Datum:</b>	01.04.2009	
<b>Verfasser:</b>	Reinwarth, Eric	
<b>verwendete Dokumente:</b>	Stückliste Gesamtzeichnung Elektrischer Schaltplan Hydraulik-Schaltplan	Abb. 16 Spiralwindemaschine

Tab. 4 Projektdaten

Festlegen der Grenzen der Maschine		
<b>1.</b>	<b>Verwendungsgrenzen</b>	
	Bestimmungsgemäße Verwendung	Biegen von Draht zu Spiralen (Drahtdurchmesser entsprechend der Auslegung der Maschine)

	Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung	keine	
	Einsatzbereich der Maschine		
	Haushalt	nein	
	Gewerbe	ja/nein (evtl.)	
	Industrie	ja	
	Nutzergruppen	Aufgabe	Qualifikation/Beeinträchtigungen
	Fachpersonal	Reparatur	Fachausbildung
	Auszubildende	Bedienen	angelern
	Bedienpersonen	Bedienen	erfahren/angelern

Tab. 5 Grenzen der Maschine

<b>2.</b>	<b>Räumliche Grenzen</b>	
	Beschreibung der Maschine / des Systems	Spiralwindemaschine bestehend aus einem Maschinengestell mit Werkzeug (Messer/Schnecke), Getriebe, elektrischem Antrieb und Sicherheitseinrichtungen
	Schnittstellen zu anderen Maschinen	keine
	Schnittstellen zur Energieversorgung	elektrische Energieversorgung

Tab. 6 Räumliche Grenzen

<b>3.</b>	<b>Zeitliche Grenzen</b>	
	Vorgesehene Verwendungsdauer	Verwendungsdauer nicht beschränkt
	Empfohlene Wartungsintervalle	Siehe Betriebsanleitung

Tab. 7 Zeitliche Grenzen

<b>4.</b>	<b>Weitere Grenzen</b>	
	Höchste/niedrigste Umgebungstemperaturen	Siehe Betriebsanleitung
	Erforderlicher Grad der Sauberkeit	Das Werkzeug ist stets sauber zu halten
	Materialien und Eigenschaften der verarbeiteten Materialien	Stahldrähte mit def. Eigenschaften (siehe Betriebsanleitung)

Tab. 8 Weitere Grenzen

Identifizieren der Gefährdungen						
Pos	Lebens - Phasen	Beschreibung der Gefährdung	Risiko- einschät -zung	Maßnahmen zur Risikominderung	PL erf.	PL erreicht
1	Betrieb	Schneiden bzw. Abschneiden von Händen oder Fingern zwischen Draht, Messer und Schnecke	S = S2 A = A2 E = E1 W = W1  Erg.= 3	1. Zum Einrichten der Maschine ist eine Tippschaltung einzubauen (Sicherheitskreis gemäß Kategorie 3 nach DIN EN 954-1) und während des Betriebes der Spiralwindemaschine ist die Schutzeinrichtung (Abdeckung) geschlossen zu halten  2. Hinweis in der Betriebsanleitung: „Warnung! Die Schutzeinrichtung der Spiralwindemaschine ist nur dann wirksam, wenn die Bedienung durch eine einzelne Person erfolgt. Bedienung niemals durch mehrere Personen!“	S = S2 F = F2 P = P1  PL = d	Kat. = 3 B <sub>10d</sub> = 3.361.500 h <sub>op</sub> = 7,5 h d <sub>op</sub> = 249 t <sub>Zyklus</sub> = 30 s MTTF = 150 J (=hoch) DC = 0  PL = d
2	Betrieb	Herausspritzen von Kühl-/Schmierflüssigkeit unter Druck, wenn Leitungen undicht werden oder bersten	S = S1 A = A2 E = E1 W = W1  Erg.= 3	1. Überdruckventil einbauen.  2. Schläuche mit Überzügen versehen, die herausstutzende Flüssigkeit zurückhalten  3. Hinweis Betriebsanleitung: „Arbeiten an der Kühl-/Schmierflüssigkeitsanlage nur bei deaktivierter Pumpe und ohne Druck im System durchführen!“		

3	Wartung	Schneiden bzw. Abschneiden von Händen oder Fingern zwischen Draht, Messer und Schnecke bei versehentlichem Auslösen der Spiralwindemaschine, während im Bereich der oben genannten Werkzeuge gearbeitet wird.	S = S2 A = A2 E = E1 W = W2  Erg.= 4	1. Abschließbaren Hauptschalter anbringen.  2. Hinweis in der Betriebsanleitung: „Warnung! Gefahr durch unbeabsichtigt anlaufende Maschine. Vor dem Durchführen von Wartungsarbeiten, den Hauptschalter ausschalten und gegen Einschalten sichern!“	S = S2 F = F2 P = P1  PL = d	Kat. = ? B <sub>10d</sub> = 20.000.000 h <sub>op</sub> = 7,5 h d <sub>op</sub> = 249 t <sub>Zyklus</sub> = 3600 s MTTF = 107 J DC = ?  PL = ?
---	---------	---	---	---	--	---

Tab. 9 Risikobeurteilung

Tab. 7

Pos.	Lebens-Phasen	Beschreibung der Gefährdung	Risiko-einschätzung	Maßnahmen zur Risikominderung	PL erf.	PL erreicht
4	Betrieb, Wartung, Reparatur	Elektrische Gefährdung. Direkte oder indirekte Berührung von unter Spannung stehenden Teilen, wenn Fehler an elektrischen Bauteilen auftreten.	S = S2 A = A2 E = E2 W = W1  Erg.= 4	Elektrische Ausrüstung nach EN 60204 gestalten.  Hinweis Betriebsanleitung: „Warnung! Defekte elektrische Leitungen unverzüglich austauschen!“		

Tab. 9 Risikobeurteilung

Alle zur Analyse genutzten Diagramme und Tabellen befinden sich in der Anlage Teil B, Anlage B1 bis B6.

Aus der Risikobeurteilung der vorhandenen Produktionstechnik, geht eindeutig hervor, dass die vorhandenen Maschinen ein großes Gefahrenpotential aufweisen. Aus technologischer Sicht ist es nicht möglich, die vorhandene Technik zu überarbeiten und auf den heutigen Stand der Technik zu heben.

### **2.7.2. Grundsätze für die Integration der Sicherheit (Anlage Teil C, Anlage C1)**

Die vorhandene Maschine ist so gebaut und konstruiert, dass sie ihrer Funktion gerecht wird.

Es ist jedoch gegeben, dass während des Betriebs, des Einrichtens und der Wartung die Person einer Gefährdung ausgesetzt ist.

Mit der vorhandenen Technik ist es nicht möglich alle Kriterien, die die Maschinenrichtlinie zu diesem Punkt fordert, zu erfüllen. Mangels entsprechender Unterlagen (Betriebs-, Wartungs- und Bedienungsanleitung, Serviceintervalle ...) kann zum einen keine geeignete Analyse der Gefährdung oder Einweisung des Personals durchgeführt werden. Auch ist es nicht möglich, die bestehende Technik den geforderten konstruktiven Sicherheitsstandards anzupassen.

### **2.7.3. Materialien und Produkte (Anlage Teil C, Anlage C2)**

Auf Grund des Alters der Maschine und der fehlenden Unterlagen kann nicht beurteilt werden, welche Substanzen zur Kühlung und Schmierung der Maschine verwendet wurden sind. Somit ist auch unklar welche Substanzen sich momentan in den Maschinen befinden. Dies birgt die Gefahr von Gesundheitsrisiken.

### **2.7.4. Bedienungsplätze (Anlage Teil C, Anlage C3)**

Durch den Mangel einer Abdeckung der Werkzeuge kann es zu einer vorhersehbaren Gefährdung des Bedieners, kommen. Laut Maschinenrichtlinie muss ein solcher Bedienungsplatz mit geeigneten Mitteln abgedeckt werden, die gegen vorhersehbare Gefährdungen schützen.

### **2.7.5. Stellteile**

#### **(Anlage Teil C, Anlage C4)**

Stellteile müssen deutlich sicht- und erkennbar sein (ggf. mit Piktogrammen). Dies ist bei der vorhandenen Produktionstechnik nicht der Fall. Es ist gegenwärtig zu erkennen, mit welcher Funktion die Stellteile belegt sind.

Die Maschine kann vom Bedienplatz aus in Gang gesetzt werden, auch wenn sich jemand im Gefahrenbereich der Maschine befindet. Dieses lässt sich nicht vermeiden, da es notwendig ist, bei der Umrüstung bzw. Einstellung der Maschine feine Justagearbeiten an den Werkzeugen durchzuführen. In diesem Fall muss nach Maschinenrichtlinie ein optisches und/oder akustisches Warnsignal vorgeschaltet sein.

### **2.7.6. Ingangsetzen, Stillsetzen, Betriebsbedingtes Stillsetzen**

#### **(Anlage Teil C, Anlage C5)**

Anforderungen an Ingangsetzen, Stillsetzen und Betriebsbedingtes Stillsetzen, nach Maschinenrichtlinie 2006\42\EG, werden von der vorhandenen Produktionstechnik erfüllt.

An der vorhandenen Produktionstechnik gibt es ein NOT-HALT Befehlsgerät. Es ist jedoch nicht deutlich erkenn- und sichtbar. Außerdem ist es nicht möglich von jeder Position aus dieses zu bedienen. Das vorhandene NOT-HALT Befehlsgerät ist die einzige Schutzmaßnahme an der Maschine. Laut Maschinenrichtlinie gilt NOT-HALT Befehlsgeräte müssen andere Schutzmaßnahmen ergänzen, aber dürfen nicht an deren Stelle treten.

### **2.7.7. Betriebs-, Steuerungsart**

#### **(Anlage Teil C, Anlage C6)**

Zum Umrüsten und Einrichten der Maschine müssen Einstellungen vorgenommen werden die nur im Schrittbetrieb möglich sind. (siehe hierzu Kapitel 2.3. und 2.5.) Dazu müssen auf dem Bedienpult die dafür vorgesehenen Schalter so angebracht sein, dass jede



Stellung des Wahlschalters deutlich erkennbar ist und nur einer Steuerungs- oder Betriebsart entspricht. Dies ist bei der vorhandenen Produktionstechnik nicht der Fall!

### **2.7.8. Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefährdung (Anlage Teil C, Anlage C7)**

Aufgrund der fehlenden technischen Unterlagen (Betriebsanleitung) ist es nicht möglich nachzuvollziehen, welche Inspektions- und Wartungsarbeiten in welchen Abständen aus Sicherheitsgründen durchzuführen sind. Des Weiteren fehlen Angaben, welche Teile dem Verschleiß unterliegen und nach welchen Kriterien diese auszutauschen sind. Auch ist nicht bekannt, welche Werkstoffe für die Maschine verwendet wurden um eine Abschätzung bezüglich des Verschleißes treffen zu können.

Bewegliche Teile müssen laut Maschinenrichtlinie so konstruiert und gebaut sein, dass Unfallrisiken durch Berührung dieser Teile verhindert werden. Falls Risiken dennoch bestehen, müssen sie durch bewegliche Teile mit trennender oder nichttrennender Schutzeinrichtung ausgestattet sein. Das ist bei der bestehenden Maschine nicht der Fall! In Summe dieser aufgeführten Punkte stellt sich ein erhöhtes Gefährdungsrisiko für den Bediener der Maschine ein. Diese Punkte müssen zwingend bei der neu zu konstruierenden Maschine beachtet werden.

### **2.7.9. Ausrutsch-, Stolper- und Rutschrisiko (Anlage Teil C, Anlage C8)**

Aufgrund des Alters der Maschine und der unzureichenden Kenntnisse zur richtigen Schmierung und Wartung kommt es zu einer beträchtlichen Verschmutzung des Arbeitsplatzes (Abb. 17). Da der von der Haspel ablaufende Draht ebenfalls geschmiert werden muss, um ein reibungsarmes Abwickeln zu ermöglichen (Abb. 18), läuft Öl frei und verschmutzt in den Arbeitsbereich.



Abb. 17 Behälter für Kühl-, Schmierstoff



Abb. 18 Drahtablauf

Es ist eindeutig, dass für den Bediener der Maschine ein erhöhtes Gefährdungsrisiko durch diese Verschmutzung besteht, da er sich durch Rutschen bzw. Ausrutschen schwer verletzen kann.

Die Verschmutzung der Umwelt ist natürlich auch ein Fakt, der an dieser Stelle mit erwähnt werden soll.

### **2.7.10. Informationen und Warnhinweise an der Maschine (Anlage Teil C, Anlage C9)**

An der bestehenden Maschine sind keine eindeutigen Bedienhinweise zu erkennen. Diese sollten vorzugsweise in Form leicht verständlicher Symbole oder Piktogramme dargestellt werden. Bereiche, in denen solche einfachen Bedienhinweise angebracht werden sollten, wären zum Beispiel an den Werkzeugaufnahmen (Rotation→ Quetschungsgefahr) oder auch für die Bedienung der Maschine (Knöpfe). Besteht trotz der Beachtung aller relevanten Sicherheitsbestimmungen ein Restrisiko, so ist auf dieses eindeutig hinzuweisen.

Alle diese Anforderungen der Maschinenrichtlinie werden von der derzeit bestehende Produktionstechnik nur unzureichend oder gar nicht erfüllt!

### **2.7.11. Kennzeichnung der Maschine (Anlage Teil C, Anlage C10)**

Folgend aufgeführte Kennzeichnungen müssen an einer Maschine zwingend angebracht sein:

- Firmenname + Anschrift,
- Bezeichnung der Maschine,
- CE – Kennzeichnung,
- Baureihen – oder Typbezeichnung,
- gegebenenfalls Seriennummer,
- Baujahr (Jahr in dem der Herstellungsprozess abgeschlossen war).
- An der bestehenden Produktionstechnik sind alle diese Daten nicht vorhanden!

### **2.7.12. Betriebsanleitung (Anlage Teil C, Anlage C11)**

Es muss für jede Maschine eine Betriebsanleitung in der Amtssprache des Landes vorliegen, in das diese geliefert werden soll. Es gibt für keine der Spiralwindmaschinen, die sich im Einsatz befinden eine Betriebsanleitung!

## **2.8. Abschließende Bemerkung**

Die bisherigen Ausführungen belegen, dass die vorhandene Produktionstechnik den heutigen Standards nicht entspricht. Aus Mangel an technischen Unterlagen zur bestehenden Maschinentechnik konnte keine genauere Analyse durchgeführt werden. Die Ergebnisse führen zu der Entscheidung, dass eine Neukonstruktion sinnvoll ist und durchgeführt werden sollte, um die Produktionstechnik den heutigen Standards anzupassen. Dabei können die gewonnen Erkenntnisse und Erfahrungen aus der bisherigen Produktionstechnik eingebracht werden.

### **3. Versuche, Berechnungen und Arbeiten mit der Maschine**

In diesem Kapitel wird auf Versuche und Berechnungen eingegangen. Dabei sollen Fragen die für eine Neukonstruktion wichtig sind, angesprochen und beantwortet werden. Nach der theoretischen Analyse wie unter Punkt 2. ist es wichtig, sich auch praktisch mit der vorhandenen Produktionstechnik auseinanderzusetzen. Dadurch erhält der Betrachter die Möglichkeit Probleme im Prozess zu erkennen und kann Strategien zur Lösung dieser Aufgaben entwickeln. Des Weiteren erhält man einen Einblick in die Funktionsweise der Maschine. Mit diesem Wissen der Funktionsweise kann eine Aufarbeitung und Optimierung der Produktionstechnik zielgerichtet durchgeführt werden.

Im Einzelnen wird auf die notwendigen theoretischen Berechnungen eingegangen, einschließlich der dazugehörigen Versuche. Außerdem werden Versuche zur Optimierung des Fertigungsprozesses durchgeführt. Abschließend wird auf das praktische Arbeiten mit der vorhandenen Produktionstechnik beschrieben, wobei hier die Auswertung der gewonnenen Erkenntnisse im Vordergrund steht.

#### **3.1. Berechnungen**

##### **3.1.1. Berechnung des erforderlichen Moments zum Biegen des Drahtes**

In diesem Kapitel wird das Moment berechnet, welches theoretisch notwendig ist um den Draht zu biegen. Zur Bestimmung werden folgende Annahmen getroffen:

- Aufteilung der Verformung in reine Biegung und reine Torsion
- für Biegung → durch konstantes Moment belastet und einachsiger Spannungszustand

Als Grundlage für die folgenden Berechnungen dient: „CAD/CAM in der Biegetechnik - Integrierte Informationsverarbeitung in der Draht und Biegetechnik“<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> siehe Litheraturquellen Punkt 4

Es wird davon ausgegangen, dass sich das gesamte Moment, welches nötig ist, den Draht zu biegen, aus einer elastischen und einer plastischen Komponente zusammensetzt. Bei Überschreiten der Streckgrenze beginnt die plastische Verformung. Unterhalb der Streckgrenze bewegt man sich im rein elastischen Bereich. Auf Grund dieser Aussage errechnet sich das notwendige Gesamtmoment nach folgender Gleichung:

$$M_{\text{ng}} = M_{\text{el}} + M_{\text{pl}} \quad (1)$$

Die Werte, die für die folgenden Berechnungen genutzt werden, sind dem Tabellenbuch Roloff/Matek entnommen.

Es wird mit einem Drahtdurchmesser von 2mm gerechnet. Der Werkzeug Biegeradius ( $R_i$ ) beträgt 2mm.

Material:	1.4301	Edelstahl (X5CrNi18-10 / X4CrNi18-10)
	$R_e$	210N/mm <sup>2</sup>
	E-Modul	200.000N/mm <sup>2</sup>

### 3.1.1.1. Berechnung des elastischen Biegemoments

Um eine bleibende Verformung zu erreichen muss mindestens die Streckgrenze von  $210\text{N/mm}^2$  überschritten werden. Aufgrund von Schwankungen in der Drahtqualität wird für die weitere Berechnung von einem Wert von  $300\text{N/mm}^2$  ausgegangen. (nach DIN kann die Streckgrenze auf einer Drahtspule um  $50\text{N/mm}^2$  schwanken + Sicherheit =  $300\text{N/mm}^2$ ) Durch das Biegen von Draht entsteht über den Querschnitt eine Fläche, die mit einem rein elastischen Moment beansprucht wird. Sie hängt dabei von der Größe der Belastung ab. Die notwendigen Rahmenbedingungen sollen in den folgenden Abbildungen verdeutlicht werden.

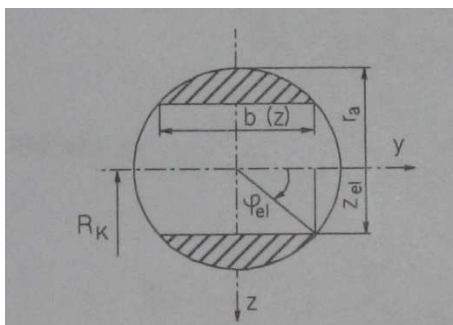


Abb. 19 Spannungsbereiche

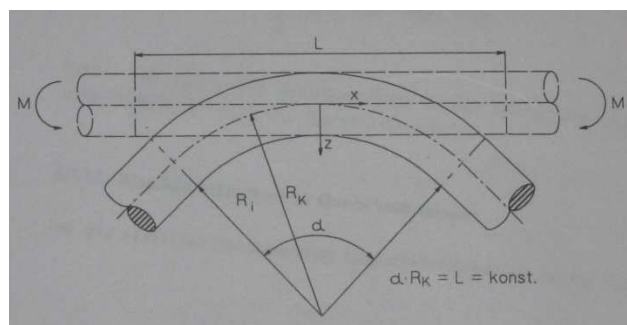


Abb. 20 Geometrie des Drahtbiegens

Dabei wird die Größe der Fläche durch den Winkel des elastischen Querschnittsbereichs  $\varphi_{el}$ , die Grenze des elastischen Querschnittsbereichs  $z_{el}$  und die Querschnittsbreite  $b(z)$  definiert.

Um das elastische Biegemoment zu berechnen wird folgende Gleichung angenommen:

$$M_{el} = \frac{\sigma_f \times r_a^4}{2 \times z_{el}} \left[ \varphi_{el} - \frac{\sin(\varphi_{el})}{4} \right] \quad (2)$$

In Gleichung (2) ist  $\sigma_f$  die Fließspannung. Diese muss mindestens der Streckgrenze entsprechen damit eine bleibende Verformung entstehen kann. In diesem Fall wird von einem Wert, wie eingangs erläutert, von  $300\text{N/mm}^2$  ausgegangen. Als Werkstückaußenradius wird  $r_a$  definiert. Dieser beträgt bei einem Durchmesser von 2mm, 1mm.

Zur Berechnung von  $z_{el}$  wird als Grundlage die Gleichung für die Längsverschiebung genutzt:

$$u = \frac{z_{el}}{r_a} = \frac{\sigma_F \times R_K}{E \times r_a} \quad (3)$$

Durch Umstellen der Gleichung (3) nach  $z_{el}$  erhält man:

$$z_{el} = \frac{\sigma_F \times R_K}{E} \quad (4)$$

wobei  $R_K = \text{Abstand zur neutralen Faser} + \text{Biegeradius}$  ist.

$$\rightarrow R_K = \underline{3\text{mm}}$$

Setzt man nun alle gegebenen Werte in Gleichung (4) ein, so erhält man für  $z_{el}$ :

$$\rightarrow z_{el} = \underline{4,5 \times 10^{-3} \text{mm}}$$

Im nächsten Schritt wird noch die letzte Unbekannte,  $\varphi_{el}$ , berechnet. Dazu wird folgende Formel genutzt:

$$\sin(\varphi_{el}) = \frac{z_{el}}{r_a} \quad (5)$$

Durch Einsetzen der errechneten und gegebenen Werte erhält man für  $\varphi_{el}$ :

$$\rightarrow \varphi_{el} = \underline{0,258^\circ}$$

Nun kann durch Einsetzen der Werte in Gleichung (2) das elastische Moment berechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass  $\varphi_{el}$  einmal im Bogenmaß in die Berechnung eingeht.

$$\rightarrow M_{el} = \underline{112,5 \text{Nmm}} \rightarrow \approx \underline{0,113 \text{Nm}}$$

Das notwendige elastische Moment beträgt rund 0,113Nm.

### 3.1.1.2. Berechnung des plastischen Biegemomentes

Bei Überschreiten der Streckgrenze, in diesem Fall  $300\text{N/mm}^2$ , tritt eine plastische Verformung des Drahtes ein. Hier wird als neue Variable das Verfestigungsmodul  $V_M$  eingeführt. Dieses berücksichtigt das Verfestigen des Werkstoffes beim Biegen im plastischen Bereich.

Im Folgenden ist die Gleichung aufgestellt, anhand derer das plastische Moment berechnet werden soll.

$$M_{pl} = \sigma_f \times r_a^3 \times \left\{ \frac{4}{3} \times \left( 1 - \frac{V_M}{E} \right) \times \cos^3(\varphi_{el}) + \frac{V_M \times r_a}{2 \times E \times \varepsilon_{el}} \times \left[ \frac{\pi}{2} - \varphi_{el} + \frac{\sin(4\varphi_{el})}{4} \right] \right\} \quad (6)$$

Die einzige Unbekannte in dieser Gleichung ist das Verfestigungsmodul  $V_M$ . Dieses wird durch einen Zugversuch bestimmt (vergl. Punkt 3.2.1.) Der ermittelte Wert für die weitere Berechnung beträgt:

$$\rightarrow V_M = \underline{\underline{1373\text{N/mm}^2}}$$

Alle anderen Werte sind bekannt, sodass durch Einsetzen in Gleichung (6) das plastische Moment bestimmt werden kann.

$$\rightarrow M_{pl} = \underline{\underline{399,7\text{Nm}}} \rightarrow \approx \underline{\underline{0,4\text{Nm}}}$$

Das notwendige plastische Moment beträgt rund  $0,4\text{Nm}$ .

Somit ergibt sich nach Gleichung (1) ein gesamtes Moment zum Biegen des Drahtes von:

$$\rightarrow M_{nG} = \underline{\underline{0,513\text{Nm}}}$$



### 3.1.2. Berechnung des Torsionsmoments

Um der Spirale die passende Steigung zu geben, muss auch die Torsion in die Betrachtung zur Verformung des Drahtes einbezogen werden.

Als Grundlage wird folgende Gleichung angenommen:

$$\tau_{zul} = \frac{T}{W_p} \quad (7)$$

Es wird folgende Annahme getroffen. Die zulässige Torsionsspannung muss mindestens den Wert der Streckgrenze aufweisen um eine bleibende Verformung zu realisieren. Die Streckgrenze wird wie schon in den vorherigen Berechnungen mit  $300 \text{ N/mm}^2$  angesetzt.

Für das polare Widerstandsmoment wird folgende Formel genutzt:

$$W_p = \frac{\pi}{16} \times d_D^3 \quad (8)$$

Setzt man nun Gleichung (8) in Gleichung (7) ein, erhält man:

$$\tau_{zul} = \frac{T \times 16}{\pi \times d_D^3} \quad (9)$$

Durch Umstellen der Gleichung nach dem Torsionsmoment, erhält man:

$$T = \frac{\tau_{zul} \times \pi \times d_D^3}{16} \quad (10)$$

Als Drahtdurchmesser  $d_D$  wird ein Wert von 2mm eingesetzt. Durch das Einsetzen aller nun bekannten Werte kann das Torsionsmoment bestimmt werden, welches mindestens erreicht werden muss, um eine bleibende Verformung des Drahtes zu erzielen.

$$\rightarrow T = \underline{471,24 \text{ Nmm}} \rightarrow \approx \underline{0,47 \text{ Nm}}$$

Es ist ein Torsionsmoment von 0,47Nm aufzubringen.

### 3.1.3. Bestimmung der Reibverhältnisse und Reibkräfte

Beim Fertigungsprozess entstehen an zwei verschiedenen Stellen Reibungskräfte, die Reibung zwischen Draht und Messer sowie die Reibung zwischen Draht und Schnecke. Damit der Draht in der Schnecke gefördert werden kann, muss die Reibung zwischen Draht und Schnecke größer sein als die Reibung zwischen Draht und Messer.

Zur Bestimmung der auftretenden Reibkraft wird der Ansatz aus der Haftreibung am Spitz- und Trapezgewinde gewählt. Dieser besagt:

$$F_R = \frac{\sin \alpha \cos(\beta/2) + \mu \times \cos \alpha}{\cos \alpha \cos(\beta/2) - \mu \times \sin \alpha} \times F_{ax} \quad (11)$$

Die Werte für  $\alpha$  und  $\beta$  lassen sich anhand der Schneckengeometrie bestimmen (Abb. 21, Tab.

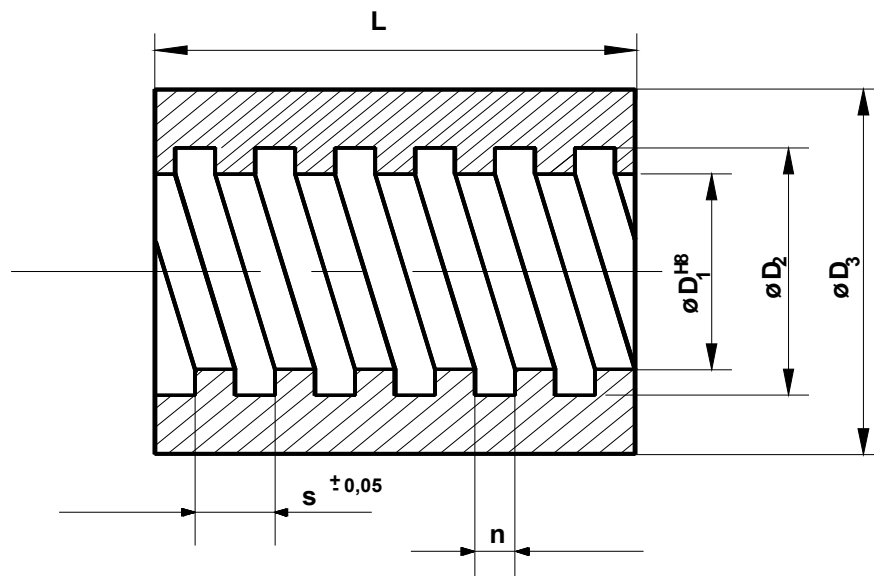


Abb. 21 Schnecke im Querschnitt

Bandausführung	$(d)^2$	$(d_1)^3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	t	n	s	L
E30/-/2,0/4,0	2,0	4,0	34,0	40,0	70,0	30,0	2,60	5,0	90,0

Tab. 10 Geometriedaten zur Schneckengröße

Der Wert für die Haftreibung  $\mu = 0,1$  (Reibung Stahl auf Stahl → geschmiert) wird dem Tabellenbuch von Roloff/Matek [Literaturverzeichnis Punkt 2, Seite 86] entnommen.

<sup>2</sup> Drahtdurchmesser

<sup>3</sup> Querstabdurchmesser

Der Winkel  $\alpha$  errechnet sich wie folgt:

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \times d_{FI}} \quad (12)$$

Die Steigung  $p$  ist dem Tabellenwert für  $s$  aus Tabelle 10 gleichzusetzen. Der Flankendurchmesser  $d_{FI}$  errechnet sich wie folgt:

$$d_{FI} = \frac{D_2 - D_1}{2} + D_1 \quad (13)$$

Für  $D_1$  und  $D_2$  erhält man die Werte ebenfalls aus der Tabelle 10. Durch Einsetzen der Werte in Gleichung (13) bekommt man folgenden Wert für den Flankendurchmesser:

$$\rightarrow d_{FI} = \underline{37\text{mm}}$$

Somit ergibt sich nach Gleichung (12):

$$\rightarrow \alpha = \underline{2,46^\circ}$$

Der Winkel  $\beta$  wird mit  $90^\circ$  festgelegt, da die Flanken, wie in Abbildung 24 zu erkennen ist, senkrecht stehen.

Nun muss noch eine axiale Kraft,  $F_{ax}$ , berechnet werden. Diese hat ihre Ursache in der Reibung zwischen Draht und Messer. Die Reibungskraft zwischen Draht und Messer wirkt Ihrer Ursache entgegen, was bedeutet, dass diese Reibkraft auch als axiale Kraft angesehen werden kann. Den Ansatz zur Berechnung dieser Kraft liefert die Seilreibung. Dabei gilt die Annahme, dass die Reibkraft für den hier aufgezeigten Fall als Seilkraft beim Heben berechnet werden kann. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$F_{ax} = F_{vs} \times (e^{\mu_{RF} \times \alpha_{US}} - 1) \quad (14)$$

Die Vorspannkraft  $F_{vs}$  wurde durch einen Versuch (Punkt 3.2.2.) ermittelt und beträgt 130N.  $\mu_{RF}$  wird mit 0,1 (Stahl auf Stahl  $\rightarrow$  geschmiert) angenommen. Der Umschlingungswinkel im Bogenmaß beträgt  $2\pi$ . Es wird von einer doppelten Umschlingung von  $360^\circ$  ausgegangen.

Durch Einsetzen der Werte in Gleichung (14) erhält man für die axiale Kraft  $F_{ax}$ :

$$\rightarrow F_{ax} = \underline{113,7\text{N}}$$

Nach Gleichung (11) ein, erhält man für die Reibkraft  $F_R$ :

$$\rightarrow F_R = \underline{21,1\text{N}}$$

Das Moment, welches benötigt wird um den Draht zu ziehen, errechnet sich nach folgender Formel (15):

$$M_{Dz} = F_{Vs} \times \frac{d_{FI}}{2} \quad (15)$$

Setzt man nun alle Werte in die Gleichung ein, so erhält man ein notwendiges Moment von 2,4Nm. Es muss aufgebracht werden um den Draht bei einer Vorspannkraft von 130N zu ziehen.

### 3.1.4. Zusammenfassung

Werte:  $M_{nG} = 0,513\text{Nm}$

$T = 0,47\text{Nm}$

$M_{Dz} = 2,4\text{Nm}$

$F_R = 21,1\text{N}$

Bevor diese Werte zu einem Gesamtmoment zusammengefasst werden können, muss die Reibkraft  $F_R$  in ein Moment umgerechnet werden. Dies erfolgt nach folgender Gleichung:

$$M_{FR} = F_R \times \frac{d_{FI}}{2} \quad (16)$$

Setzt man nun die Werte ein, wobei  $d_{FI}=0,37\text{cm}$  beträgt, erhält man für das Reibmoment:

$$\rightarrow M_{FR} = \underline{0,39\text{Nm}}$$

Diese errechneten Werte werden in dem folgenden Kapitel, unter Einbeziehung des Versuchs der Momentmessung (Punkt 3.2.3.) auf ihre Richtigkeit geprüft und Interpretiert.

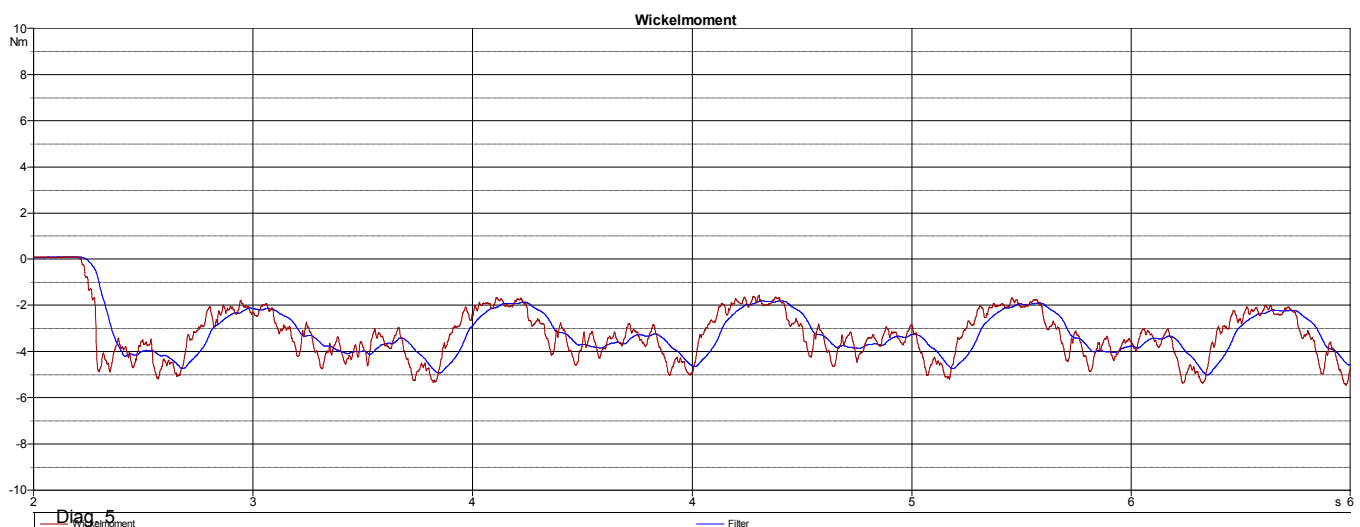
### 3.1.5. Beurteilung der Ergebnisse unter Einbeziehung der Momentmessung von Punkt 3.2.3.

Interpretation der Berechnungen unter Einbeziehung der Erkenntnisse von Bereich 1.

In diesem ersten Bereich steigt das maximale Moment beim Anfahren auf 5Nm. Diese 5Nm setzen sich wie folgt zusammen:

$$5Nm = 2 \times (M_{NG} + T) + M_{Dz} + M_{Fr} \quad (17)$$

Setzt man in Gleichung (17) die dafür errechneten Werte ein, so erhält man ca. 4,76. Das entspricht in etwa dem Wert aus dem Versuch. Das Biegemoment und Torsionsmoment gehen doppelt ein, da eine komplette Umdrehung des Werkzeugs gemessen wurde. Dabei treten die Momente jeweils zweimal auf (Messer Ober – und Unterkante), und da die berechneten Werte nur für eine Biegung bestimmt wurden, müssen diese zweifach eingehen. Der Versuch bestätigt dies. Demzufolge unterteilt sich das aufgebrachte Moment in den Teil für die Umformung (Moment zum Biegen + Torsionsmoment = 1,026Nm + 0,94Nm), in einen Anteil für die Reibung (Reibmoment = 0,39Nm) und einen Zuganteil zum Drahtziehen (2,4Nm). Betrachtet man den Kurvenverlauf aus dem 1. Bereich, so sieht man eine konstante Verschiebung der Kurve um ca. 3Nm. Dies hat die Ursache in den Momenten, welche immer konstant auftreten, sozusagen unabhängig von der Rotation des Messers sind. Das wären zum einen das Moment zum Drahtziehen und zum anderen die Reibung des Drahtes auf dem Messer. Summiert man beide Werte erhält man rund 2,8Nm, was in etwa dem entspricht, was abgelesen wurde. Das restliche



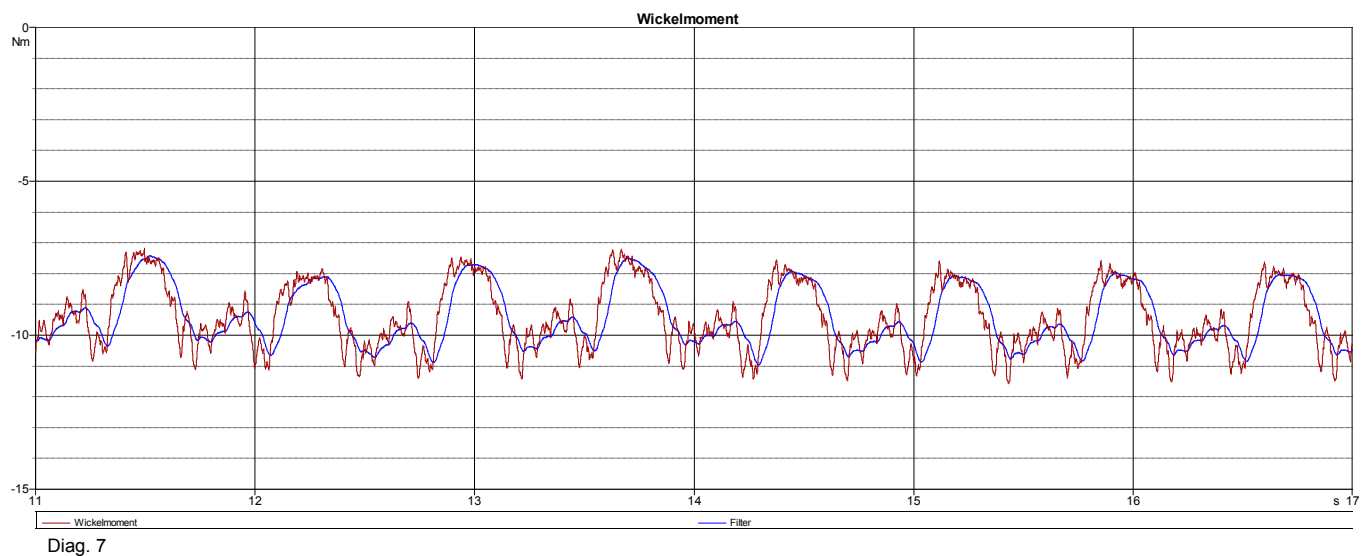
Moment wird rein für die Verformung des Drahtes benötigt. Das Moment für die Verformung bleibt konstant.

Im 2. Bereich steigt das notwendige Moment auf einen Wert von ca. 11Nm auf.



Dieser Anstieg erklärt sich durch die Verdrehung des Messers. Nach neun Umdrehungen des Messers ist der Draht soweit auf dem Messer gefördert, dass er an die verwundene Stelle kommt. Durch die Verwindung des Messers kommt es zu einer weiteren Verformung des Drahtes. Sie bewirkt einen Anstieg des Momentes. Die Ursache der Erhöhung dabei ist wahrscheinlich ein zusätzliches Moment zur Verformung und eine Erhöhung der Reibung. Diese These ist zu noch zu bestätigen.

Im 3. Bereich bleibt das notwendige Moment konstant bei ca. 11Nm.



Der Kurvenverlauf im Bereich 3 zeigt einen konstanten Verlauf. Die Ursache ist, dass der Draht nun komplett durch die Schnecke gefördert ist und sich somit das maximale Moment eingestellt hat.

### 3.1.6. Berechnung der notwendigen Motorleistung

Als Grundlage der Auslegung wird von dem maximal gemessenen Moment (11Nm) ausgegangen. Dabei ist zu beachten, dass das erhaltene Ergebnis nur für den hier behandelten Fall zutrifft. Um eine allgemeine Aussage treffen zu können müssen weitere Versuche und Berechnungen durchgeführt werden.

Bei der Berechnung der notwendigen Motorleistung wird von einem Moment  $M_{\text{ges}} = 11\text{Nm}$  und den Drehzahlen  $n_1 = 80\text{U/min}$  und  $n_2 = 400\text{U/min}$  ausgegangen. Diese beiden Drehzahlen stellen die obere und untere Grenze dar. Die notwendige Leistung berechnet sich nach folgender Formel:

$$P = M_{\text{ges}} \times \omega \quad (1)$$

wobei: 
$$\omega = 2 \times \pi \times n \quad (2)$$

Setzt man nun Gleichung (2) in Gleichung (1) ein, erhält man:

$$P = M_{\text{ges}} \times 2 \times \pi \times n \quad (3)$$

Durch Einsetzen der Drehzahlen und des Gesamtmomentes erhält man:

$$\text{minimal Leistung} = \underline{\underline{92\text{W}}}$$

$$\text{maximal Leistung} = \underline{\underline{461\text{W}}}$$

Für die Auslegung des Motors ist die maximale Leistung entscheidend. Diese beträgt 461W. Als Sicherheit wird die Leistung mit 1,7 multipliziert um Verluste durch Lager usw. mit einzubeziehen. Somit erhält man für die notwendige Leistung einen Wert von ca. 783,7W, also rund 0,8KW.

## 3.2. Versuche

In diesem Kapitel werden alle durchgeführten Versuche aufgezeigt und näher erläutert. Das Ziel der Durchführung solcher Versuche besteht zum einem in der Bestätigung von theoretischen Erkenntnissen und zum anderen in der Bestimmung von relevanten Werten.

### 3.2.1. Zugversuch

Ziel des Versuchs ist es, das Verfestigungsmodul des zu verarbeitenden Drahtes zu bestimmen.



Abb. 22 Apparatur Zugversuch



Abb. 23 Apparatur Zugversuch

#### Parameter des Zugversuchs

Geprüft wird ein Draht mit einem Durchmesser von 2mm, bestehend aus 1.4301 (Edelstahl X5CrNi18-10/X4CrNi18-10) genutzt. Die Probenlänge beträgt ca. 300mm, die effektiv gemessene Ausgangslänge ( $l_0$ ) 180mm.

Die Zugversuche werden auf einer Zugprüfmaschine der Firma Hegewald & Peschke, Mess, – und Prüftechnik GmbH, mit einer maximalen Abzugskraft von 100kN durchgeführt.



### Theoretische Grundlagen

Das Verfestigungsmodul  $V_M$  ist für die Berechnung des plastischen Biegemomentes im Draht von Bedeutung. Dieses Modul kann im Zugversuch ermittelt werden. Dazu werden aus dem erhaltenen Spannungs-Dehnungsdiagramm die obere und untere Fließspannung bestimmt sowie deren zugehörige Dehnungen (x-Koordinaten). Zu beachten ist, dass die wahre Spannung und Dehnung zur Berechnung genutzt werden muss. Beim Zugversuch nach DIN EN 61, Din 53455 wird üblicherweise die Spannung über den gleichbleibenden Ausgangsquerschnitt berechnet. Um aber das Verfestigungsmodul korrekt zu bestimmen muss die wahre Spannung mit dem tatsächlichen Querschnitt berechnet werden, der die Veränderung des Querschnittes auf Grund der Einschnürung der Probe berücksichtigt.

### Auswertung

Die Berechnung des Verfestigungsmoduls erfolgt nach Formel (1):

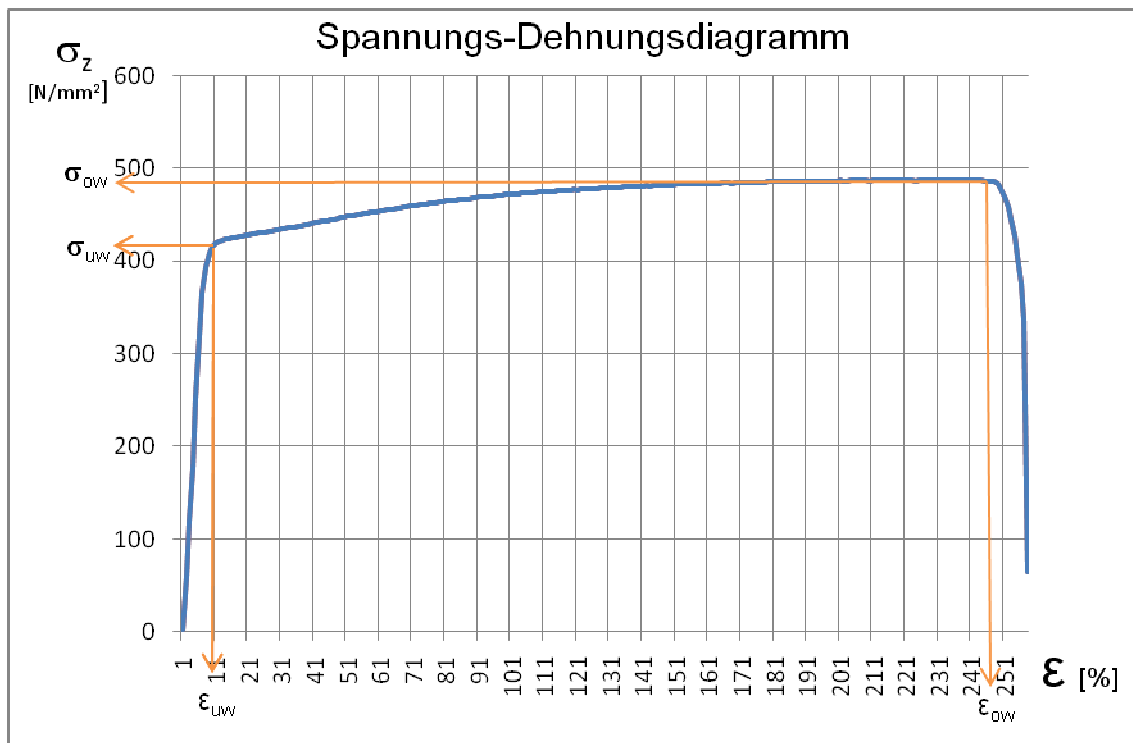
$$V_M = \frac{\sigma_{uw} - \sigma_{ow}}{\epsilon_{uw} - \epsilon_{ow}} \quad (1)$$

Die wahren Spannungen und Dehnungen werden nach folgenden Formeln berechnet:

wahre Dehnung: 
$$\epsilon_w = \ln \left| \frac{l_0 + \epsilon_{uw}/\epsilon_{ow}}{l_0} \right| \quad (2)$$

wahre Spannung: 
$$\sigma_w = \frac{F \times (l_0 + \epsilon_{uw}/\epsilon_{ow})}{l_0 \times A_0} \quad (3)$$

Die benötigten Werte können dem Spannungs–Dehnungsdiagramm entnommen werden, welches beim Zugversuch erstellt wird.



Diag. 1 Spannungs - Dehnungsdiagramm

Grundlage für die Berechnung des Verfestigungsmoduls sind die Werte im Bereich zwischen Streckgrenze und Bruchdehnung, in dem das Material bleibend (plastisch) verformt wird.

### Berechnung

Zu erst wird die wahre Dehnung berechnet. . Alle hierfür erforderlichen Werte sind gegeben und im Anhang Teil E, Anlage E1 nachzuschlagen.

$$l_0 = 180,0\text{mm}$$

$$s_{UW} = 0,59\text{mm}$$

$$s_{OW} = 18,0\text{mm}$$

Setzt man nun die erhaltenen Werte jeweils für den oberen und unteren Wert in Gleichung (2) ein, so erhält man die obere/untere wahre Dehnung.

$$\epsilon_{UW} = \underline{\underline{3,27 \cdot 10^{-3}}}$$

$$\epsilon_{OW} = \underline{\underline{0,0953}}$$

Im nächsten Schritt wird die wahre Spannung analog zur Ermittlung der Werte für die wahre Dehnung bestimmt. Die dafür erforderlichen Werte sind ebenfalls im Anhang Teil E, Anlage E1 zusammengefasst.

$$l_0 = 180\text{mm} \quad d_0 = 2,0\text{mm} \rightarrow A_0 = \underline{\underline{3,142\text{mm}^2}}$$

$$F_{uw} = 1282\text{N}$$

$$F_{ow} = 1530,2\text{N}$$

Setzt man nun die ermittelten Werte in Gleichung (3) ein, so erhält man die obere/untere wahre Spannung.

$$\sigma_{uw} = \underline{\underline{409,36\text{N/mm}^2}}$$

$$\sigma_{ow} = \underline{\underline{535,72\text{N/mm}^2}}$$

Aus diesen Werten wird nach Formel (1) der Verfestigungsmodul bestimmt

$$V_M = \underline{\underline{1373\text{N/mm}^2}}$$

Damit kann das plastische Biegemoment berechnet werden, welches benötigt wird, um den Draht zu biegen (siehe Punkt 3.1.1.2.).

### 3.2.2. Ermittlung der Drahtvorspannung

Bei dem Versuch „Messung der Drahtvorspannung“ ist die Drahtvorspannung zu ermitteln, die eingestellt ist, wenn die Spirale den Anforderungen an die Geometrie entsprechend produziert wird. Diese Drahtvorspannung stellt somit den optimalen Bereich, in dem produziert werden soll, dar. Der so erhaltene Wert wird für die Berechnung der Motorleistung benötigt.

Das Material des Drahtes ist ein Edelstahl (1.4301, X5CrNi18-10) mit einem E-Modul von  $200.000 \text{ N/mm}^2$ , einer Streckgrenze  $R_e$  von  $210 \text{ N/mm}^2$  und einer Zugfestigkeit  $R_m$  von  $480 \text{ N/mm}^2$ .

Als Messmittel wurde ein digitaler Federkraftmesser der Firma ALLURIS verwendet.

Typen – Nr.: FMI – 200

Messbereich:  $0,0 \dots 500,0 \text{ N}$  /  $0,0 \dots 50,0 \text{ kg}$



Abb. 24 digitaler Federkraftmesser

Vorbereitung der Messung:

Als erstes muss die Maschine entsprechend der Bedienungsanleitung vorbereitet werden. Dies bedeutet, die Stromversorgung durch Einstecken des Steckers herzustellen und den am Schaltkasten der Maschine befindlichen Hauptschalter einzuschalten.

Der Draht wird auf den dafür vorgesehenen Drahtablauf gelegt und durch die Drahtvorspanneinrichtung geführt.



Abb. 25 Richteinheit zum Drahtvorspannen



Abb. 26 Richteinheit zum Drahtvorspannen

Anschließend werden die Werkzeuge eingebaut. Dabei ist auf eine bestimmte Position der Schnecke zum Messer zu achten. Der Draht wird um das Messer gelegt, so dass der Arbeitsprozess beginnen kann. Um eine optimale Spirale produzieren zu können, muss die Drahtvorspannung auf einen entsprechenden Wert eingestellt werden

Durchführung der Messung:

Ist eine Spirale den geometrischen Vorgaben entsprechend produziert worden, muss der Draht vor dem Werkzeug durchtrennt werden. Am Ende des durchtrennten Drahtes ist eine Öse zu biegen, in die der Federkraftmesser eingehängt wird. Beim Ziehen muss möglichst in der Draht linear gezogen werden, um den Momenteinfluss zu minimieren.

Es werden 10 Messungen durchgeführt. Daraus wird der Mittelwert gebildet, der für die oben beschriebene Berechnung genutzt werden kann.

Messergebnisse:

Versuch	Messwert in [N]
1	111,1
2	114,7
3	128,9
4	127,4
5	137,0
6	129,7
7	121,7
8	128,4
9	135,7
10	139,0

Tab. 11 Werte zur Messung der Drahtvorspannung

Der Mittelwert beträgt 127,4N.

Die Standardabweichung beträgt 9,2N.

Dieser Wert entspricht in etwa der mittleren optimalen Drahtvorspannung. Zur weiteren Berechnung wird ein gerundeter Wert von 130N genutzt.

Interpretation der Ergebnisse:

Ursache für die Variation der Messwertes sind zum eine die unterschiedlichen Drahtqualitäten bezogen auf die Länge des Drahtes und zum anderen ein unsauberer Ablauf von der Drahtrolle. Hier kann es zu Verdrehungen oder Fetz kommen, wodurch die Drahtvorspannung schwankt, was sich negativ auf die Geometrie der Spirale auswirkt.

### 3.2.3. Momentenbelastung am Wickelmesser

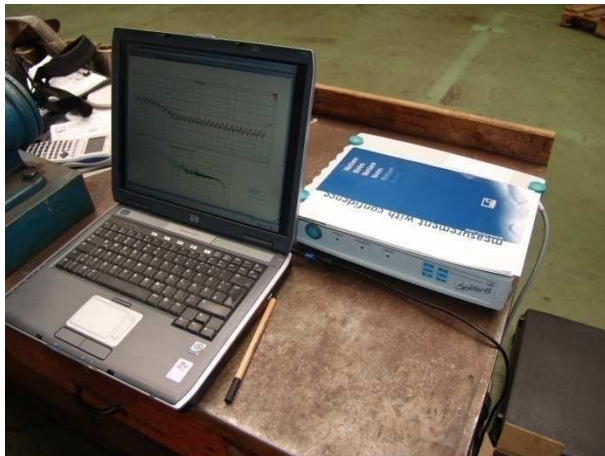


Abb. 27 Messanordnung

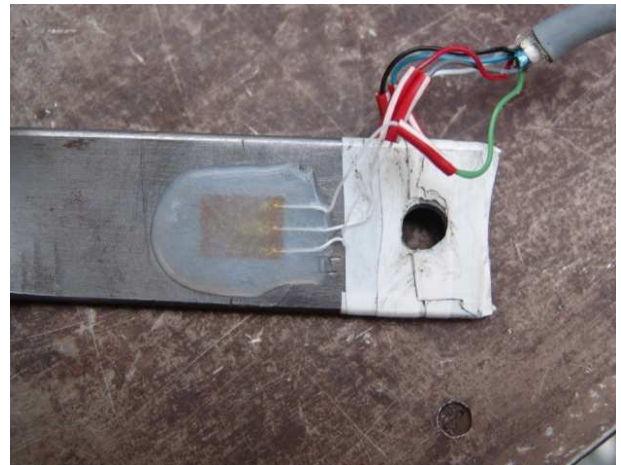


Abb. 28 Messer mit applizierten DMS - Streifen

Für die Neuentwicklung einer Maschine unter Einbeziehung der vorhandenen Produktionstechnik, ist es entscheidend zu wissen, welche Kräfte an den Werkzeugen auftreten. Hierbei ist das maximal auftretende Moment am Werkzeug der entscheidende Faktor. Da sich der Draht um das Messer (welches rotiert) windet und mittels einer Schnecke mit Innengewinde gefördert wird, tritt in Kombination dieser Arbeitsgänge das maximale Moment auf.

Dieser Versuch soll Aufschluss über die tatsächliche Momentenbelastung am Messer geben. Der erhaltene Wert soll Rückschlüsse auf die notwendige Motorleistung zulassen und eine Überprüfung der theoretischen Auslegung der vorhandenen Produktionstechnik darstellen. Hierbei ist im Speziellen zu ermitteln, wie sich das maximal auftretende Moment in die Komponenten wie Reibung und Moment zum Biegen aufteilt. Des Weiteren ist es möglich, eine Optimierung des Arbeitsprozesses durchzuführen.

Die Schnecke besteht aus Sinter – Bronze. Deren genaue Herstellerbezeichnung lautet AMPCO. (Siehe hierzu in der Anlage Teil D – Anlage D1) AMPCO zeichnet sich durch sehr gute Gleitwerte und eine hohe Standzeit gegenüber anderen Materialien wie Stahl aus.

Die Messer bestehen aus einem C60 Stahl. Daraus folgen eine hohe Härte und gute Standzeit.

### 3.2.3.1. Vorbereitung der Messung mit Aufbau der Messanordnung

Als Messmittel werden DMS – Streifen, der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (im folgenden HBM genannt) verwendet. Dabei handelt es sich um 2 X – Rosetten (Abb. 29) vom Typ K-XY4-120-25-1-0, die als Vollbrücke (auch Wheatstonesche Brücke Abb. 30) geschaltet werden. (Beachte: auf Abb. 29 ist nur ein DMS – Streifen dargestellt)

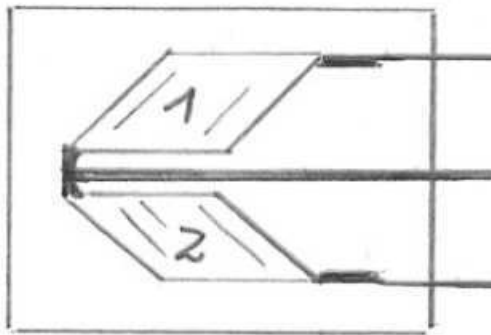


Abb. 29 X - Rosette

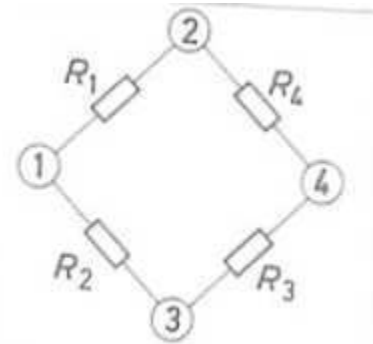


Abb. 30 Wheatstonesche Brücke

Ein DMS – Streifen gibt als Wert die Veränderung der Spannung, diese durch Veränderung des Ohmschen Widerstands, aufgrund der Änderung der Länge aus. Somit kann als Ergebnis direkt eine Dehnung gemessen werden. In diesem Fall würde  $R_1$  und  $R_3$  positiv sein, wohingegen  $R_2$  und  $R_4$  negativ sind. Dadurch erhält man als absolute Dehnung  $\varepsilon_A$ :

$$\varepsilon_A = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = 4 \times \varepsilon$$



Die zwei verwendeten DMS – Streifen müssen beidseitig auf dem Messer, wie auf Abb. 31 zu sehen, appliziert werden.

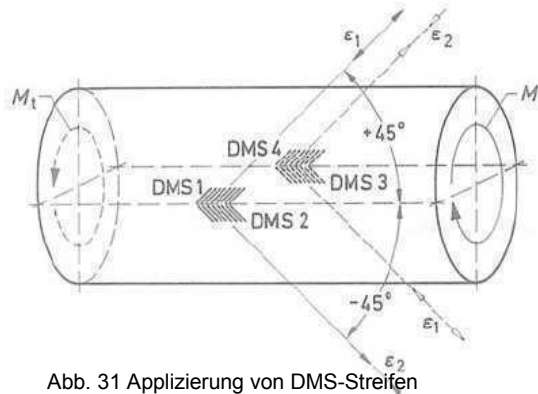


Abb. 31 Applizierung von DMS-Streifen

Um einen DMS – Streifen korrekt zu applizieren muss zunächst das Trägermaterial (in diesem Fall das Messer) gründlich von Verunreinigungen und Fett gereinigt werden. Hierzu verwendet man spezielle Reiniger von HBM (1-RMS1-SPRAY) oder Aceton. Würden kleinste Verunreinigungen oder Fettreste zurückbleiben, kann der DMS – Streifen mit dem Kleber und dem Untergrund keine ausreichende Bindung eingehen, sodass die erhaltenen Werte verfälscht werden. Als Kleber wird ein Cyanacrylat-Schnellklebstoff für Dehnmessstreifen verwendet. Nach dem Aushärten des Klebers muss eine Schutzschicht auf dem DMS – Streifen aufgebracht werden. Dazu verwendet man 1-SG250 Dehnmessstreifen-Abdeckmittel Transparenter Einkomponenten-Silikongummi. Ist das Abdeckmittel soweit vernetzt, kann mit dem Anschluss des Datenkabels begonnen werden. Dieses wird nach folgenden beiden Abbildungen mit dem DMS – Streifen und einem 2 reihigen, 15 – poligen Sub D Stecker verbunden.

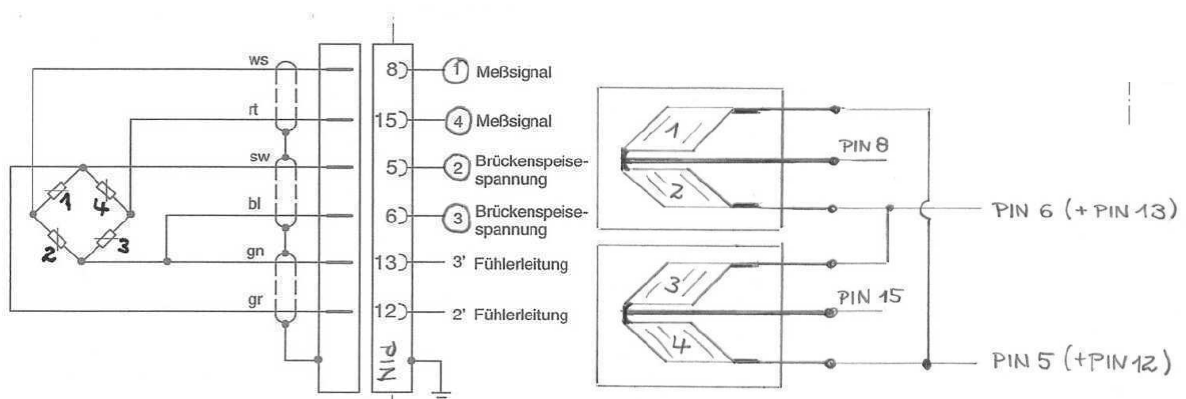


Abb. 32 Anschlussplan des Datenkabels

#### Aufbau der Messanordnung:

Zur Auswertung der Messwerte benötigt man als Auswerteeinheit den Spider 8. Dieser versorgt die DMS – Streifen mit der notwendigen Spannung und regelt diese. Außerdem verstärkt er die eingehenden Signale und gibt diese aus. Dazu wird als weiteres ein PC mit installierter Software (BEAM) benutzt. Diese dient der Auswertung und Zusammenfassung der eingehenden Signale. Des Weiteren ist eine Weiterverarbeitung der Ergebnisse mit der Software möglich. Am Spider 8 wird das Datenkabel angeschlossen.

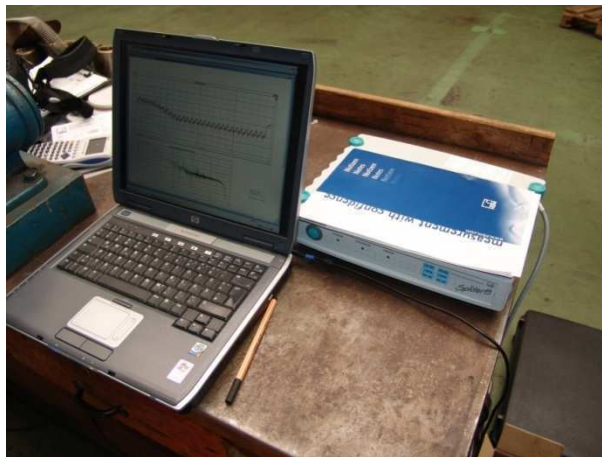


Abb. 33 Messanordnung

#### 3.2.3.2. Durchführung der Messung

Bevor die erste Messung durchgeführt werden kann, müssen noch Kalibrier- und Einrichtungsmessungen durchgeführt werden. Dazu wird das Messer fest eingespannt und ein definiertes Moment eingeleitet. Dadurch kann man die angezeigte Änderung der Spannung einem definierten Moment zuordnen. Im beschriebenen Beispiel änderte sich die Spannung um  $0,28\text{mV}$  bei einem eingeleiteten Moment von  $5\text{Nm}$ . Mit dieser Hinterlegung der Werte kann man sich das Moment direkt anzeigen lassen ohne erst die eigentliche Dehnung in ein Moment umzurechnen.

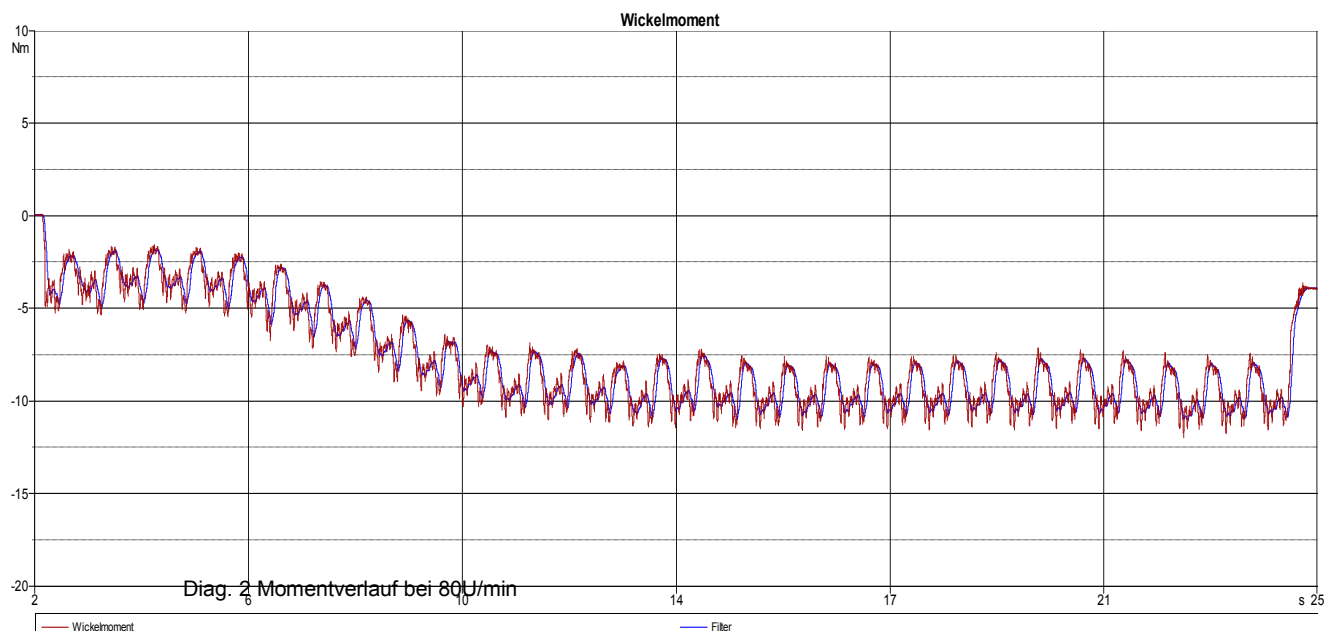
Im nächsten Schritt wird das Messer eingebaut und eine Kalibrierung durchgeführt. Diese hat als Ziel die Störung der Messwerte durch die Magnetisierung der Antriebswelle zu minimieren.

Nun kann mit der Messung begonnen werden. Dazu wird der Draht um das Messer gelegt um eine Spirale mit 30 Windungen zu produzieren. Als Voreinstellung wird die

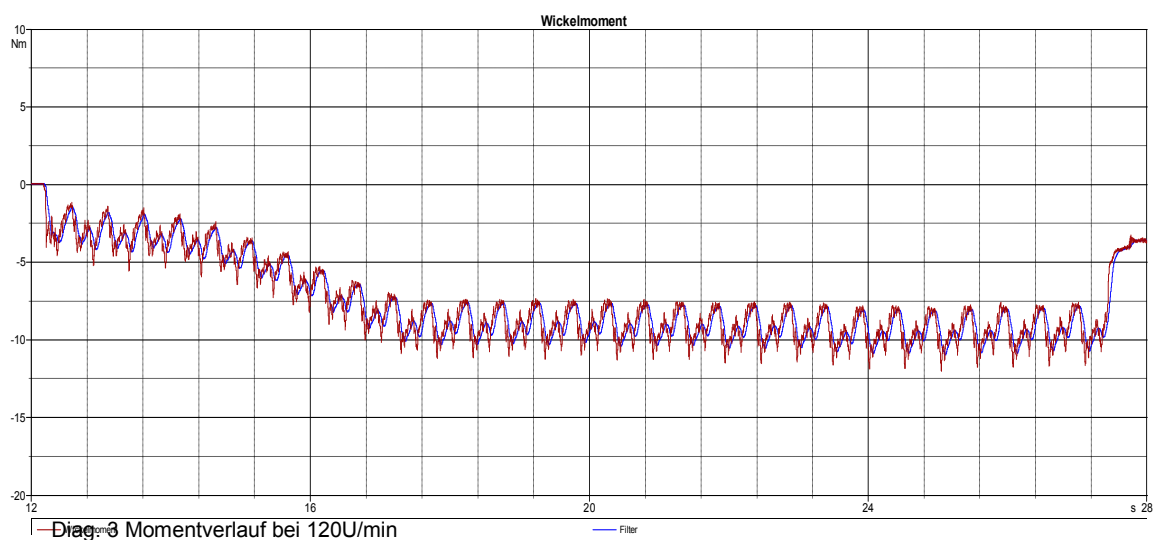
Drahtvorspannung auf 130N gestellt und die Schnecke definiert zum Messer positioniert. Zu beachten ist dabei, dass der Draht erst nach ca. 15 Umdrehungen komplett in der Spirale ist und erst dann das maximale Moment auftreten sollte.

Es wurden zwei Messungen durchgeführt, eine mit 80U/min und die andere mit 120U/min. Hiermit kann festgestellt werden, ob sich das auftretende Moment in Abhängigkeit von der Drehzahl verändert.

Als Ergebnis der Messung des Momentes bei 80U/min erhält man folgendes Diagramm:



Für die Messung des Momentes bei 120U/min erhält man folgendes Diagramm:

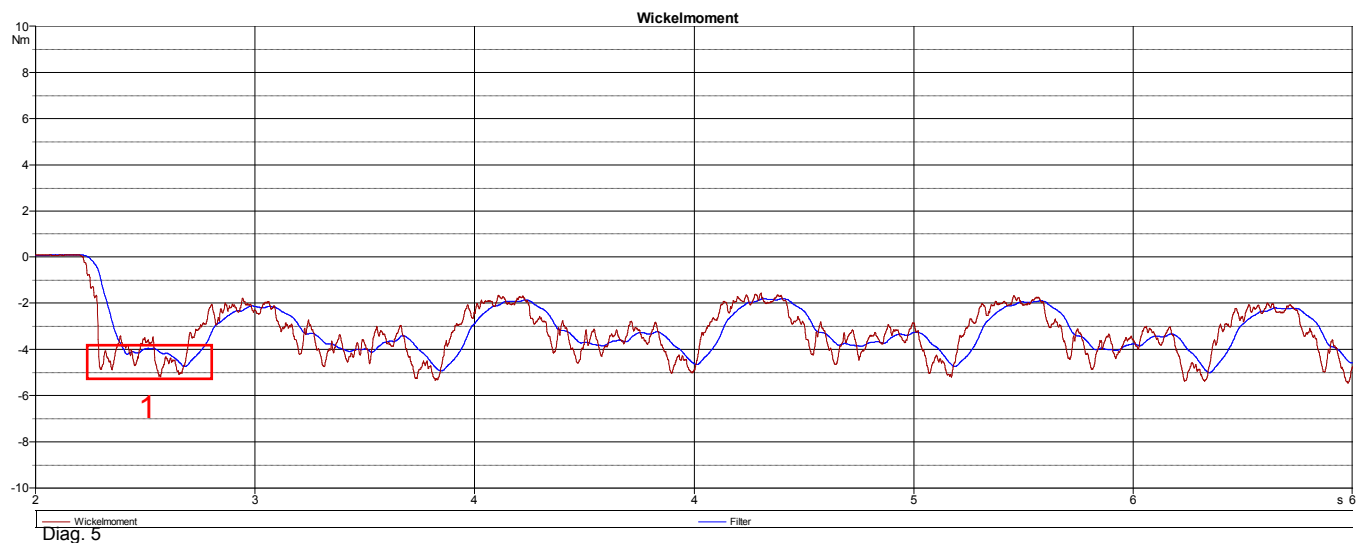


Beim Ablesen der Werte ist darauf zu achten, den Betrag des Wertes zu nutzen.



### Interpretation des 1. Bereiches

Zum besseren Verständnis wird der 1. Bereich noch einmal vergrößert dargestellt.

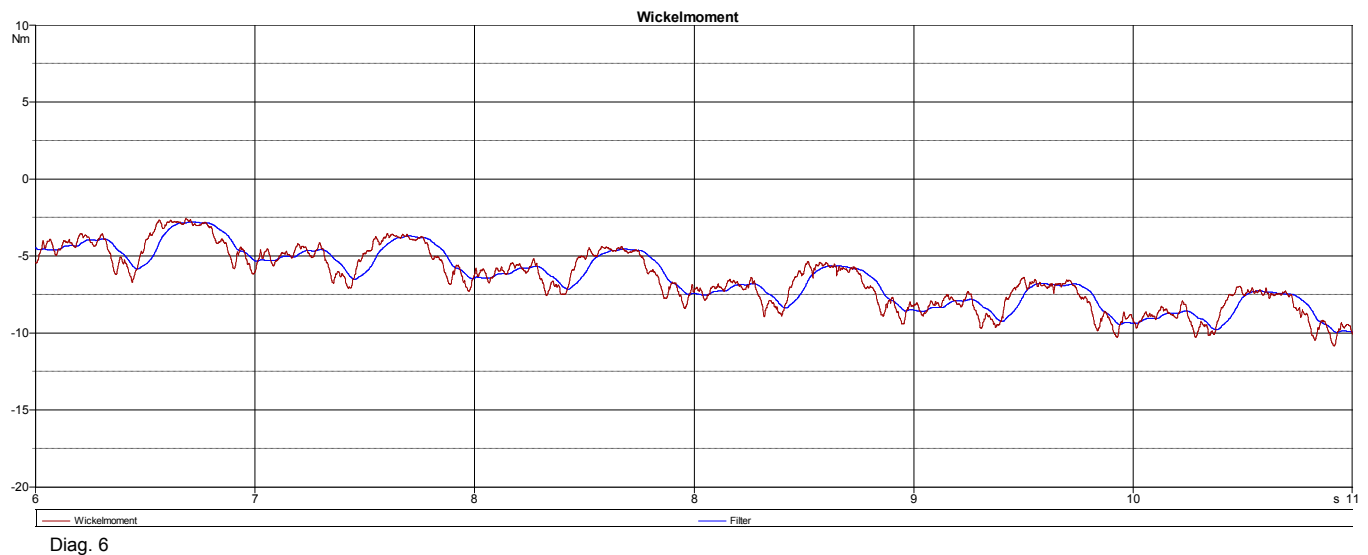


Aus dem Diagramm lässt sich das maximal auftretende Moment ablesen, welches benötigt wird um den Draht zu ziehen, den Draht zu verformen (Biegung, Torsion) und die Reibung zwischen Draht und Messer. Der maximale Wert liegt dabei bei 5 Nm (1). Der „sinusförmige“ Kurvenverlauf hat seine Ursache in der Rotation der Messer. Durch die Rotation wirkt nicht ständig das Biegemoment zur Verformung des Drahtes. Somit verringert sich und steigt das auftretende Moment. Die Verschiebung der Kurve von der Nulllinie, beruht auf dem konstanten Moment zum Drahtziehen und der Reibung zwischen Draht und Messer. Diese Verschiebung beträgt in etwa 3 Nm.

Diese Erkenntnisse sind in die Berechnungen mit einzubeziehen. Die oben getroffene Auswertung steht als Beleg für die Richtigkeit der angestellten Berechnungen.

### Interpretation des 2. Bereiches

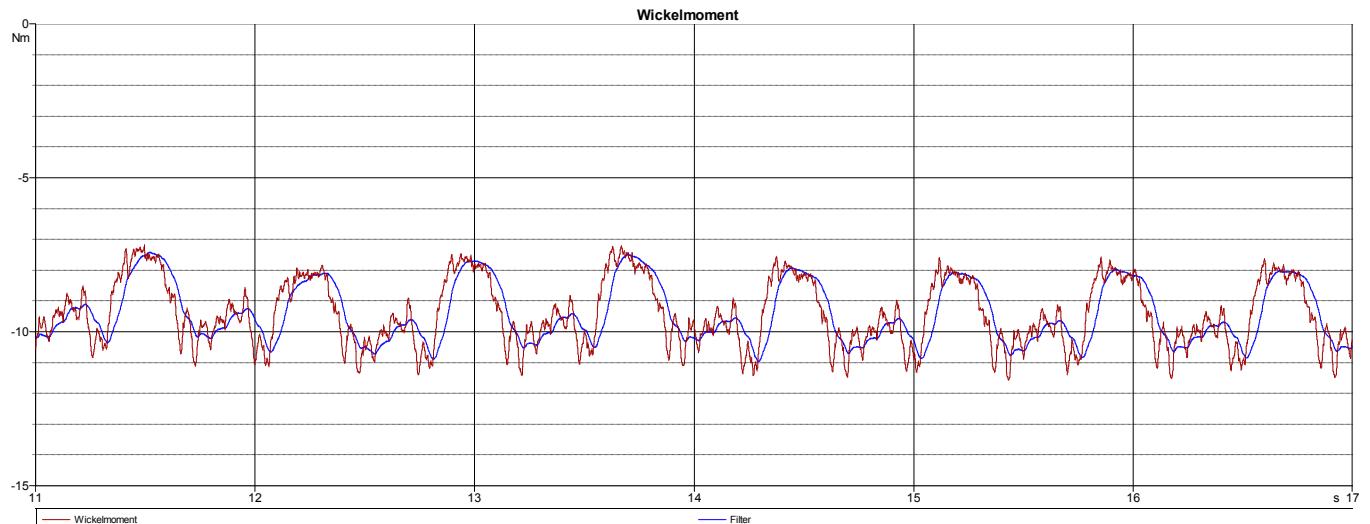
Das auftretende Moment steigt im Verlauf der Produktion immer weiter an. Als Ursache ist dabei die Steigerung der Reibpunkte zwischen Draht und Messer zu sehen. Zum besseren Verständnis dient folgendes Diagramm.



In diesem Diagramm ist eindeutig ein Anstieg des Momentes zu erkennen. Das Moment steigt bis auf ca. 11Nm an. Der Unterschied von ca. 6Nm hat seine Ursache, wie schon besprochen, im Anstieg der Reibung und einer zweiten Umformung des Drahtes. Die Ursache liegt in der Verdrehung des Messers. Durch diese wird der Draht noch einmal umgeformt. Diese zusätzliche Umformung des Drahtes führt zum Stehen der Drahtspirale. Das heißt, diese ist nicht in sich verdreht. Demzufolge findet in diesem Bereich eine plastische Verformung des Drahtes statt, welche einen Anstieg des Momentes mit sich bringt. Dieses Moment liegt in etwa bei 6Nm und wird konstant aufgebracht.

### Interpretation des 3. Bereichs

Ist der Draht komplett in der Schnecke, stellt sich ein Maximalwert bezüglich des Momentes ein.



Diag. 7

Die hier abzulesenden Maximalwerte von ca. 11Nm bleiben den restlichen Produktionsprozess über konstant. Grund hierfür ist, dass der Draht nun komplett im Werkzeug eingelaufen ist und die maximale Belastung auftritt. Wie schon im Bereich 1 interpretiert, haben die Schwankungen des Momentes ihre Ursache in der Rotation des Messers.

In Verbindung mit den unter Punkt 3.1 durchgeführten Berechnungen lässt sich eine prozentuale Aussage bezüglich der Aufteilung der Kräfte in Reibkräfte und den restlichen Biegemomenten treffen.

Eine genauere Interpretation des Kurvenverlaufs, in dem die signifikante Form der Kurve beurteilt wird, ist noch durchzuführen. Als grundlegende Überlegung ist jedoch zu sagen, dass diese Schwankungen ihre Ursache in der Magnetisierung, unterschiedlichen Drahtqualitäten oder Ungenauigkeiten im Getriebe usw. haben können. Eine Bestätigung dieser These und klare Beurteilung des Kurvenverlaufs sind bei einer weiteren Betrachtung anzustreben

## **4. Erarbeitung eines Lastenheftes**

### **4.1. Grundlagen eines Lastenheftes**

Lastenhefte und Pflichtenhefte werden nach DIN 69905, DIN 9000ff und VDI 3694 erstellt.

Ein Lastenheft dient zur besseren Übersicht der Anforderung an eine Maschine. In ihm werden Vereinbarungen zwischen Kunden und Hersteller bezüglich des Auftrages dokumentiert. In einem Lastenheft können konstruktive Besonderheiten, technischen Anforderungen, Sicherheitsanforderungen usw. übersichtlich aufgeführt werden. Je nach Branche und Verwendungszweck kann ein Lastenheft von der Form her unterschiedlich sein. Des Weiteren bietet ein Lastenheft eine gute Grundlage, um Projekt fremde Personen einzuarbeiten.

Die Inhaltlichen Schwerpunkte eines Pflichtenhefts sind:

- ▶ Zielbestimmung
  - › Musskriterien
  - › Sollkriterien
  - › Kannkriterien
  - › Abgrenzungskriterien
- ▶ Produkteinsatz
  - › Anwendungsbereich
  - › Zielgruppen
  - › Betriebsbedingungen
- ▶ Produktübersicht
- ▶ Produktdaten
- ▶ Produktfunktion
- ▶ Produktleistungen
- ▶ Qualitätsanforderung
- ▶ Benutzungsoberfläche
- ▶ Einzuhaltende Gesetze, Normen und Sicherheitsanforderungen.

Oben genannte Punkte sind als relevante Inhalte in einem Lastenheft zu sehen. Welche Inhalte von Bedeutung sind und welche vernachlässigt werden können, ist abhängig vom konkreten Thema und vom Bearbeiter des Lastenheftes.



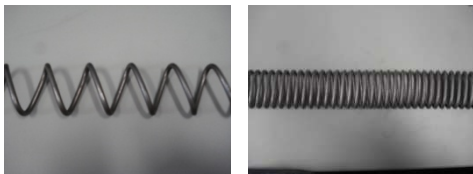
## 4.2. Lastenheft

Die in diesem Lastenheft behandelte Maschine dient der Herstellung von Drahtspiralen. Diese werden durch Rotation eines Messers, um welches sich der Draht legt, in einer Schnecke produziert. Sie ist mit einem Innengewinde versehen. Das weist in Abhängigkeit, ob eine Eng- oder Weitspirale produziert werden soll, eine unterschiedliche Steigung auf. Da der Draht und das Messer in der Schnecke rotieren und der Draht durch das Innengewinde geführt wird, stellt sich dabei in Abhängigkeit von der eingestellten Drehzahl die Vorschubgeschwindigkeit ein.

### I. Zielbestimmungen

#### a) Musskriterien

Die folgend aufgezählten Kriterien sind zwingend von der Maschine einzuhalten!

Gesamtanlage	Herstellung von Drahtspiralen  (Weit – und Engspiralen)
Produktionsgeschwindigkeit	80 – 160 U/min einzustellen über Schaltgetriebe in geeigneten Schaltstufen (4-stufig)
Drahtdurchmesser	0,8 – 7mm
Drahtmaterial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1.4841 (legierter Edelstahl, X15CrNiSi25-20)</li> <li>- 1.4301 (Edelstahl, X5CrNi1810/ X4CrNi18-10)</li> <li>- 1.4828 (Werkzeugstahl, X15CrNiSi20-12)</li> <li>- 1.4864 (Bau-, Maschinenbau-, Behälterstahl, X12NiCrSi36-16)</li> <li>- 1.4541 (Nichtrostender Stahl, X6CrNiTi18-10)</li> <li>- 1.4845 (Nichtrostender Stahl mit Sonderzusatz,</li> </ul>

Tab. 12 Lastenheft Musskriterien

	<p>X12CrNi25 21)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1.4401 (Edelstahl, X5CrNiMo17-12-2)</li> <li>- 2.4869 (Hitzebeständige Stähle und Heizleiterlegierungen)</li> </ul>
Werkzeugaufnahme	<p>reproduzierbar einstellbar</p> <p>(Positionierung der Schnecke relativ zur Verwindung des Messers)</p>
Drahtablauf	<p>störungsfreier Drahtablauf von rotierenden Haspeln</p> <p>(Drahtbund mit Pappkern)</p>
Drahtvorspannung	<p>Richtwerk (mittels zueinander, in der Höhe, unterschiedlich einstellbarer Führungsrollen)</p> <p>max. Drahtvorspannung 2000N</p>
Drahtablaufrinne	<p>einfache Rinne, in der der ablaufende Draht geführt wird</p>
Kühlung/Schmierung	<p>Mittels Behälter und Pumpe muss eine kontinuierliche Schmierung/Kühlung realisiert werden</p>
Betrieb der Maschine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rüstbetrieb (Tippbetrieb zum Einrichten der Maschine)</li> <li>- Dauerbetrieb (für den produzierenden Prozess, automatisches Stoppen der Maschine bei Erreichen der geforderten Spirallänge)</li> </ul>
Bedienung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zentrale Bedienung der Maschine mit guter Erreichbarkeit aller Komponenten</li> <li>- eindeutige Piktogramme zur Funktion der Taster</li> </ul>
Anzahl der Spindeln	<p>- die Maschine soll 4-spindlig ausgeführt werden</p>
Größe der Maschine	<p>1700x700x1550 (Länge x Breite x Höhe in mm)</p>
Größe der Ablaufrinne	<p>4000x220x100 (Länge x Breite x Höhe in mm)</p>
Größe des Drahtablaufs	<p>2500x1400x1600 (Länge x Breite x Höhe in mm)</p>
Platzbedarf Masch. gesamt	<p>10500x3000x1600 (Länge x Breite x Höhe in mm)</p>
Antriebsenergie	<p>Strom (220V, 50Hz)</p>

Tab. 12 Lastenheft Musskriterien

b) Sollkriterien

Die Erfüllung der folgend aufgeführten Punkte/Kriterien wird angestrebt. Wird die Entscheidung getroffen einen Punkt aus den Sollkriterien zu erfüllen, so rutscht dieser automatisch in die Rubrik der Musskriterien.

Drahtablauf	- von Spule (entsprechend muss die Vorrichtung gestaltet werden)
Abschneidvorrichtung	- positionsgenaueres Abschneiden der Drahtspirale (automatisch)
Drahtablaufrinne	- Die produzierte und abgeschnittene Drahtspirale muss automatisch aus der Rinne abtransportiert und sinnvoll zwischengelagert werden
Steuerung	- mittels SPS muss eine komplette Steuerung der Maschine für alle Betriebsarten möglich sein
Betrieb	- Rüstbetrieb (wie Rüstbetrieb für Sollkriterien) - Dauerbetrieb (wie Dauerbetrieb für Sollkriterien, außerdem automatisches Abschneiden der Drahtspirale, automatischer Abtransport der Spirale, erneutes automatisches Starten des Produktionsvorgangs)

Tab. 13 Lastenheft Sollkriterien

c) Kannkriterien

Die im Folgenden aufgeführten Kriterien nicht unbedingt erfüllt werden. Die Erfüllung wird angestrebt, wenn ausreichend Kapazitäten vorhanden sind.

Drahtvorspannung	- Wenn der Draht von einer Spule abläuft, so kann die Drahtvorspannung über Reibung zwischen Spule und Spulenaufnahme direkt erzeugt werden (Wegfall eines Richtwerkes)
Drehzahl	- stufenlos einstellbar von 80 – 160U/min (über Frequenzumrichter)

Tab. 14 Lastenheft Kannkriterien

d) Abgrenzungskriterien

Folgende Kriterien sollen bewusst nicht erreicht werden.

Drehzahl	< 160U/min
Anzahl der Spindeln	< 4 Spindeln

Tab. 15 Lastenheft Abgrenzungskriterien

II. Produkteinsatz

a) Anwendungsbereich

Die Maschine wird zur Produktion von Drahtspiralen eingesetzt.

b) Zielgruppe

Als Zielgruppe stellt sich die KIESELSTEIN Komponenten GmbH dar. Die Maschine ist für den Eigenbedarf vorgesehen und soll die Produktion der Drahtspiralen übernehmen bzw. die bestehende Technik unterstützen.

### c) Betriebsbedingungen

Die Maschine wird in der Produktionshalle der KIESELSTEIN Komponenten GmbH aufgestellt. Die tägliche Betriebszeit beläuft sich auf mindestens 8 Stunden pro Tag. Je nach Realisierung der im Pflichtenheft festgelegten Anforderungen, kann diese Maschine auch im Schichtbetrieb betrieben werden. Dann steigt die Betriebszeit von 8 Stunden auf maximal 24 Stunden pro Tag.

Die Maschine ist unter ständiger Beobachtung durch den Bediener. Wird eine Automatisierung im Sinne des Pflichtenheftes vorgesehen, dann kann die Anlage auch unbeaufsichtigt mit sporadischer Kontrolle durch den Bediener betrieben werden.

### III. Produktfunktion

Das Produkt dient der Herstellung von Drahtspiralen.

Der zu verarbeitende Draht wird von einem Drahtablauf zur Verfügung gestellt. Vom Ablauf läuft der Draht über ein Richtwerk (Drahtvorspannung) in die Maschine ein. Nun kommt es zur ersten Schnittstelle mit der Maschine. An dieser Stelle legt sich der Draht um das Messer. Dieses rotiert um seine eigene Längsachse. (Das Messer muss angetrieben werden und in seiner Position fixiert sein.) Durch die Rotation des Messers windet sich der Draht um dieses. Dadurch wird auch die Förderung des Drahtes realisiert. Das Messer, mit dem sich um dieses windenden Draht, rotiert in einer Schnecke. Diese Schnecke wird relativ zum Messer positioniert. Über ein in der Schnecke befindliches Innengewinde wird der Draht von dem Messer gezogen. Die Geometrie des Messers und der Schnecke bestimmen die Geometrie der Drahtspirale. Mittels einer Rinne wird der auslaufende Draht geführt. Die Steuerung des gesamten Prozesses erfolgt über ein Bedienpult. Dieses ist mit eindeutigen Piktogrammen versehen, die die Funktion der jeweiligen Taster beschreiben

### IV. Einzuhaltende Gesetze und Normen, Sicherheitsanforderungen

Die Maschine ist entsprechend aller Gesetze und Normen zu konstruieren. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die, am 29.12.2009 inkrafttretende, Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zu achten.

## 5. Betriebswirtschaftliche Betrachtung

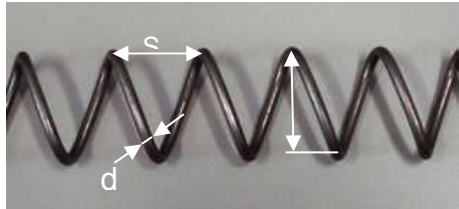
In diesem Kapitel soll das Thema der Wirtschaftlichkeit unter dem Gesichtspunkt einer Neuentwicklung oder die weitere Nutzung der bestehenden Produktionstechnik betrachtet werden. Konstruktive Verbesserungen werden dabei berücksichtigt.

Die folgende Beurteilung ist in drei Teile unterteilt:

- Betriebszeit der Maschine
- Kosten einer neuen Maschine
- Abschließende Bewertung.

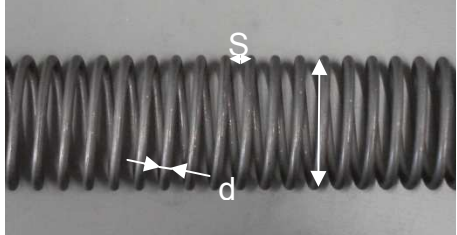
Bevor mit der Bewertung begonnen werden kann, muss zunächst das Produkt, welches auf der Maschine produziert werden soll, genauer definiert werden. Dabei handelt es sich um Drahtspiralen, bei denen zwischen, Weit- und Engspirale unterschieden wird. In den folgenden beiden Tabellen werden die Drahtspirale als Produkt definiert und der Unterschied zwischen Weit- und Engspirale verdeutlicht.

### Weitspirale

<p>Gruppe 300 Gruppe 400</p> <p>S = Steigung T = Teilung</p>	
Gruppe 300 Weitspiralflachdrahtgliedergurt	<p>bestehend aus abgeflachtem Draht</p> <p>S = 4 - 30,5mm</p> <p>T = 10 – 33mm</p> <p>Drahtdurchmesser d: 1,2 – 2,8mm</p>
Gruppe 400 Weitspiralrunddrahtgliedergurte	<p>bestehend aus Runddraht</p> <p>S = 4 - 30,5mm</p> <p>T = 10 – 33mm</p> <p>Drahtdurchmesser d: 1,2 - 2,8mm</p>

Tab. 16 Geometriedaten zu Bandausführungen

## Engspirale

<p>Gruppe 100 Gruppe 200</p> <p>S = Steigung T = Teilung</p>	
Gruppe 100 Engspiralfachdrahtgliedergurte	<p>bestehend aus abgeflachtem Draht</p> <p>S = 2,5 – 10mm</p> <p>T = 13 – 50,8mm</p> <p>Drahtdurchmesser d: 1,2 – 7mm</p>
Gruppe 200 Engspiralsrunddrahtgliedergurte	<p>bestehend aus Runddraht</p> <p>S = 2,5 – 10mm</p> <p>T = 13 – 50,8mm</p> <p>Drahtdurchmesser d: 1,2 – 7mm</p>

Tab. 16 Geometriedaten zu Bandausführungen

### 5.1. Betriebszeit der Maschine

Um eine grundlegende Aussage treffen zu können wird das Geschäftsjahr 2008 der KIESELSTEIN Industriesiebe und Drahtförderbänder (ab 01.06.2009 KIESELSTEIN Komponenten GmbH) analysiert. Im Ergebnis der Analyse soll eine grundlegende Beurteilung der Nettobetriebszeiten, Rüstzeiten und sonstige Zeiten<sup>1</sup> getroffen werden.

Im Geschäftsjahr 2008 wurden insgesamt 178 Aufträge bearbeitet. Diese teilen sich in 55 Aufträge für Weitspirale und 123 für Engspirale auf. Für jeden Auftrag ist die Anzahl der produzierten Spiralen bekannt. Daraus wird die Anzahl der Windungen pro Spirale ermittelt. Mit diesem Wert und der Drehzahl der Maschine kann für jeden Auftrag eine Nettobetriebszeit berechnet werden, wie im folgenden Rechenbeispiel gezeigt wird.

<sup>1</sup> Zeiten in der die Maschine still steht (Defekte, Spiralen abschneiden, neuen Draht auflegen usw.)

Bestellt wird ein Band E33/ - / 3,4/ 5 mit einer Breite von 800mm und einer Länge von 150m . Die hierfür benötigten Spiralen weisen eine Steigung von 10mm und eine Teilung von 35mm auf. Dividiert man nun die Breite des Bandes durch die Steigung so erhält man

$$\text{Anzahl der Windungen} = \frac{800\text{mm}}{10\text{mm}} = 80\text{Windungen/Spirale}$$

Als Nächstes wird die Anzahl der Spiralen benötigt. Diese erhält man aus der Division der Länge des Bandes durch die Teilung:

$$\text{Notwendige Anzahl der Spiralen} = \frac{150000\text{mm}}{35\text{mm}} = 4285,7\text{Spiralen}$$

Multipliziert man nun die Windungen pro Spirale mit der Anzahl der notwendigen Spiralen, so erhält man einen Wert von 342857 Windungen.

Mit Hilfe der bekannten Drehzahl der Maschine kann nun berechnet werden, wie groß die Nettolaufzeit der Maschine ist. Dabei ist zu beachten, dass an 4 Spindeln gleichzeitig produziert wird. Beachtet man all diese Faktoren, kommt man auf eine Nettobetriebszeit von 17Std. und 54min. Diese stellt einen ideellen Wert dar, der keine Rüstzeiten, Zeiten durch Stillstand usw. berücksichtigt.

Betrachtet man nun das Geschäftsjahr 2008 im gesamten so erhält man eine Nettobetriebszeit von 1246Std. Davon wurden 513Std. für Engspiralen und 733Std. für Weitspiralen genutzt.

Legt man nun dieser Zeit als Gegenwert die max. mögliche Arbeitszeit, bei 252 Tagen á 8Std., von 2016Std. zu Füßen, erkennt man, dass eine 4-Spindlige Maschine ausreichen würde.

Um einen realistischeren Wert für die Betriebszeit der Maschine zu erhalten muss man weitere Zeitfaktoren mit einbeziehen. Ein wesentlicher Zeitfaktor ist hier die Rüstzeit. Diese schwankt in ihrer Höhe zwischen 4Std. und im Extremfall bis zu 24 Stunden. Als realistischer Mittelwert für die Rüstzeitzeit wird 8Std. angenommen. Da bei jedem neuem Auftrag die Maschine neu Eingerüstet werden muss, ergibt sich eine Gesamtrüstzeit von 1424 Stunden. Dieser Wert und der Wert für die Nettobetriebszeit übersteigen dabei die



zur Verfügung stehenden Arbeitsstunden jährlich. Alle bis hierhin getroffenen Festlegungen und Werte sind in folgender Tabelle noch einmal übersichtlich dargestellt.

Nettozeit 2008 Engspirale	513 Stunden
Nettozeit 2008 Weitspirale	733 Stunden
Nettozeit gesamt	1246 Stunden
Arbeitstage in 2008	252 Tage
Arbeitszeit bei 8Std/Tag	2016 Stunden
Aufträge 2008	178
Rüstzeit pro Auftrag	8 Stunden
Netto + Rüstzeit	2670 Stunden
Zeitdifferenz	- 654 Stunden

Tab. 17 Betriebszeit

Es ist jetzt schon zu erkennen, dass eine 4-spindlige Maschine nicht ausreicht, um den jährlichen Bedarf an Spiralen zu decken. Bezieht man in die obige Kalkulation noch weitere Zeiten wie: Stillstand der Maschine, Auflegen von neuem Draht oder Defekt bedingter Stillstand, Stillstand wegen Abschneiden des Drahtes mit ein, so erhöht sich die Zeitdifferenz erheblich. Ein weiteres Problem ist die Überschneidung von Aufträgen. Bei der obigen Berechnung wurde davon ausgegangen, dass die Aufträge der Reihe nach abgearbeitet werden. In der Realität überschneiden sich aber viele Liefertermine, so dass parallel produziert werden muss, um Kollisionen mit Lieferterminen anderer Kunden zu vermeiden.

An diesem Punkt mit der oben gemachten Erkenntnis muss nun nach einer Lösung für das Problem gesucht werden. Durch das Betreiben von zwei Maschinen, mit einer gleichzeitigen Aufteilung der beiden Maschinen nach Drahtdurchmesser, kann diese Zeitdifferenz in ein Zeitplus umgewandelt werden. Man unterscheidet zwei unterschiedliche Varianten in der Ausführung der Maschine. Die eine Maschine soll für einen Drahtdurchmesser von 0,8 – 2,5mm (leichte Ausführung) ausgelegt werden und die andere für Drahtdurchmesser von 2,5 – 7mm (schwere Ausführung). Der Grund für diese

Einteilung liegt zum einen in der Verteilung der Drahtdurchmesser auf die Aufträge und zum anderen für die Dimension der entsprechenden Maschinen.

Mittels diese Aufteilung anhand der Drahtdurchmesser könnten die Aufträge fast 50/50 auf die beiden Maschinen aufteilen.

Dies wird in der folgenden Tabelle noch einmal verdeutlicht.

<u>Variante leichte Maschine 0,8 – 2,5mm Drahtdurchmesser</u>				
	E - Spirale	W - Spirale	Summe	Prozent von Aufträgen gesamt
Anzahl der Aufträge	37	48	85	47,25%
Summe der Nettozeit		783 Std.	= 1463 Std.	
Rüstzeit der Aufträge		680 Std.		
Zeitdifferenz		<u>+553 Std.</u>		

Tab. 18 Betriebszeit: „kleine“ Maschine

<u>Variante schwere Maschine 2,5 – 7mm Drahtdurchmesser</u>				
	E - Spirale	W - Spirale	Summe	Prozent von Aufträge gesamt
Anzahl der Aufträge	88	5	93	52,25
Summe der Nettozeit		464 Std.	= 1208 Std.	
Rüstzeit der Aufträge		744 Std.		
Zeitdifferenz		<u>+ 808 Std.</u>		

Tab. 19 Betriebszeit: „große“ Maschine

Wie zu sehen ist, ergibt sich für beide Maschinen ein Zeitplus. Dieses fällt in der Realität jedoch geringer aus, da in Abhängigkeit vom Auftrag noch Zeiten zum Drahtauflegen, zum Abschneiden der Spiralen und evtl. defektbedingte Ausfallzeiten hinzugerechnet werden

müssen. Man kann von ca. 4 Std. zusätzlich pro Auftrag im Mittel über das Jahr gerechnet ausgehen. Zieht man diese Zeit wiederum von der Zeitdifferenz ab, so erhält man einen Richtwert über die Bruttobetriebszeit pro Jahr.

Bei 4 Stunden pro Auftrag ergibt sich für die kleine Maschine eine neue Zeitdifferenz von 213 Stunden. Für die große Maschine ergibt sich eine neue Zeitdifferenz von 436 Stunden.

Zusammenfassend wird eingeschätzt, dass unter Berücksichtigung der momentanen Produktivität bzw. einer weiteren -steigerung eine Aufteilung der Produktion auf mindestens zwei Maschinen sinnvoll ist.

## 5.2. Kosten einer neuen Maschine

Zu Beginn wird die Maschine in einzelne Baugruppen zerlegt. Das folgende Schema dient dem besseren Verständnis.

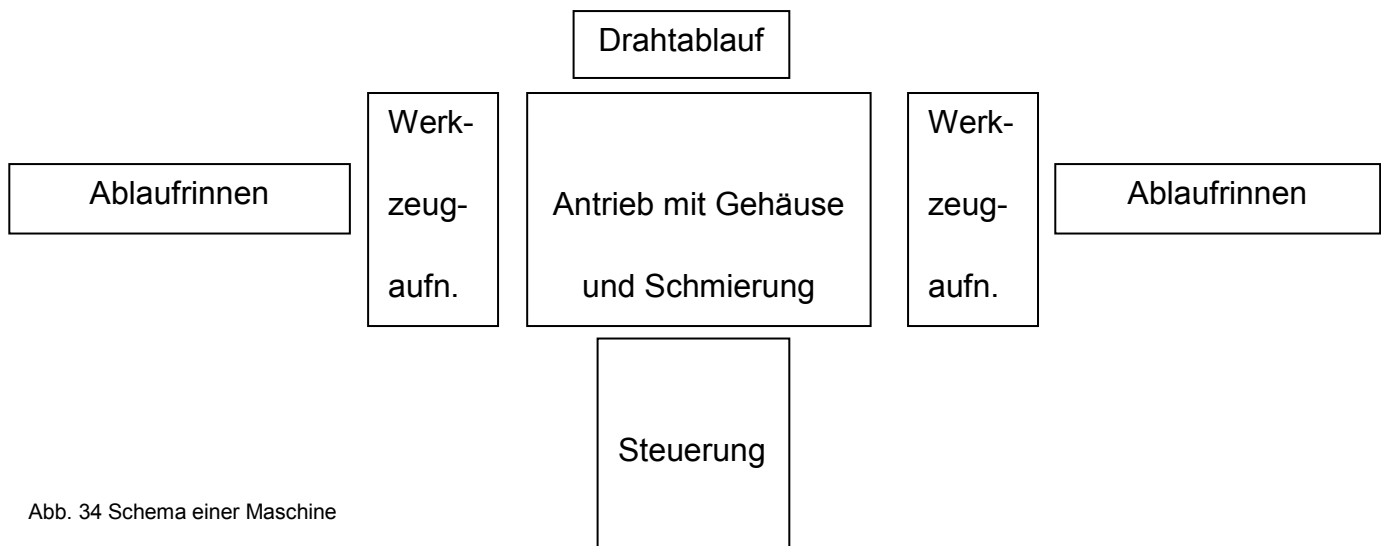


Abb. 34 Schema einer Maschine

Zu den einzelnen Baugruppen erfolgt nun eine Abschätzung der Kosten, um einen wirtschaftlichen Vergleich mit der bestehenden Produktionstechnik vornehmen zu können. Die angegebenen Kosten sind nur Richtwerte.

### Antrieb mit Gehäuse und Schmierung

Bezeichnung (Material)	Menge Stück	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
0,8KW Servomotor	4	700,-	2800,-
Frequenzumrichter mit Entstörer	4	1300,-	5200,-
Rohmaterial (Wandung, Wellen)		1000,-	1000,-
Kleinteile und Sonstiges		200,-	200,-
Elektrotauchpumpe	1	450,-	450,-
Leitung, Behälter		100,-	100,-
Kleinteile		50,-	50,-
Gesamt			9800,-

Tab. 20 Kosten Antrieb mit Gehäuse und Schmierung

### Ablaufrinne

Bezeichnung (Material)	Menge Stück	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
Rinne 2500x300x200	4	50,-	200,-
Kleinteile		100,-	100,-
Pneumatikzylinder	8	200,-	1600,-
Schläuche		50,-	50,-
Wegeventile	4	50,-	200,-
Kompressor	1	1000,-	1000,-
Gesamt			3150,-

Tab. 21 Kosten Ablaufrinne

### Drahtablauf

Bezeichnung (Material)	Menge Stück	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
Walzen	8	100,-	800,-
Rohrahmen		200,-	200,-
Bremse	1	400,-	400,-
Sonstiges + Kleinteile		500,-	500,-
Gesamt			1900,-

Tab. 22 Kosten Drahtablauf

### Werkzeugaufnahme

Bezeichnung (Material)	Menge Stück	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
Material für Halterung und Werkzeugaufnahme		2000,-	2000,-
Gesamt			2000,-

Tab. 23 Kosten Werkzeugaufnahme

### Elektrik

Bezeichnung (Material)	Menge Stück	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
SPS	1	1000,-	1000,-
Schaltschrank	1	200,-	200,-
Kabel		200,-	200,-
Kleinteile		100,-	100,-
Relais usw.		1000,-	1000,-
Gesamt			2500,-

Tab. 24 Kosten Elektrik

Somit belaufen sich die Gesamtkosten für den Bau einer neuen Maschine auf ca. 19.350 Euro. Dabei wurde die Arbeitszeit zur Herstellung der Maschine nicht mit eingerechnet.

Im Folgenden wird ein Variantenvergleich bezüglich der Motoauswahl durchgeführt.

Die Rotation der Messer wird mittels Wellen auf diese übertragen. Der Antrieb dieser Wellen kann zentral über einen Motor realisiert werden, bedeutet aber einen erheblichen Mehraufwand an Technik (Kupplungen, Bremsen, Wellen, Getriebe usw.). Dies kann einfach umgangen werden, wenn man sich für einen Direktantrieb jeder einzelnen Welle mittels eines Elektromotors entscheidet. Dabei stellt sich die Frage nach der Ausführung des Elektromotors. Hierbei kann zwischen einem kostengünstigen Drehstromasynchronmotor (0,8KW mit Getriebe ca. 500,-) und einem Servomotor (0,8KW ohne Getriebe ca. 700,-) gewählt werden. Es ist zu beachten, dass die Drehzahl des Motors stufenlos mittels Frequenzumrichter einstellbar sein soll. Ein Drehstromasynchronmotor bekommt im niedrigen Frequenzbereich Probleme bei der Laufruhe und gleichbleibender Drehzahl und Moment. (angestrebte Drehzahl 80 – 300U/min) Ein Servomotor hingegen zeichnet sich durch seine exzellente Regelbarkeit in allen Drehzahlbereichen aus. Bei diesem ist auch in niedrigen Drehzahlbereichen eine Laufruhe bei konstanter Drehzahl und Moment zu erwarten. Bei der angestrebten Automatisierung der Maschine was die Positionierung der Messer betrifft ist ein Servomotor zu bevorzugen. Er kann positionsgenau gesteuert werden. Das heißt, es ist eine exakte Positionierung der Spirale möglich, was bei der automatischen Abschneidvorrichtung unbedingt benötigt wird. Wo hingegen beim Drehstromasynchronmotor, wegen seines großen Schlupfes eine exakte Positionierung schwieriger ist.

### **5.3. Verbesserung der Maschine**

Im Folgenden werden Verbesserungen der Produktionstechnik aufgezeigt, die zu einer Erhöhung der Produktivität bei gleichzeitiger Senkung der Kosten (Betrieb, Bediener) führen können.

- ⇒ definierte Positionierung der Schnecke ( im Bezug auf das Messer )
- ⇒ automatische Abschneidvorrichtung
- ⇒ automatischer Abtransport der abgeschnittenen Spiralen
- ⇒ Werkzeuggeometrie überarbeiten und dokumentieren
- ⇒ Drahtablauf optimieren
- ⇒ neues Konzept zur Steuerung der Drahtvorspannung
- ⇒ Automatisierung der Maschine, sodass mindestens eine Mehrfachbedienung durch den einen Bediener möglich ist, idealerweise mannlose Bedienung

### **5.4. Abschließende Bewertung**

Die Einbeziehung der erarbeiteten Faktoren lässt nur eine sinnvolle Antwort auf die Fragen nach der Anzahl und dem Neubau einer Drahtwickelmaschine zu. Die richtige Lösung ist die bestehende Produktionstechnik beizubehalten und mindestens zwei Maschinen in der Produktion zu erhalten.

Sämtliche Verbesserungen der Produktionstechnik bei gleichzeitiger Optimierung des Arbeitsprozesses sind auch an der bestehenden Produktionstechnik möglich. Um eine komplette Automatisierung zu erreichen würde eine neue Antriebseinheit benötigt. (mit Servomotoren zur besseren Positionierung und der stufenlosen Einstellung der Drehzahl). Die Verbesserungen beziehen sich auf die Werkzeuge, Werkzeugaufnahme, Drahtablauf/Drahtvorspannung und die Automatisierung. Die Komponenten, die für eine

Optimierung notwendig sind, können an die bestehende Produktionstechnik angebracht werden. Eine Erweiterung der Technik ist ebenfalls ohne Probleme realisierbar, da Werkzeugaufnahme, Ablaufrinne, Drahtvorspannung in Komponentenbauweise, separat von der Maschine montiert und somit auswechselbar sind. Dadurch ist eine Neukonstruktion / Neubau nicht erforderlich.

Anhand der Analyse der Nettobetriebszeit im Geschäftsjahr 2008 ergibt sich eindeutig ein Bedarf von zwei Maschinen. Auch im Sinne einer längerfristigen Produktionssteigerung ist dies der richtige Weg. Durch eine entsprechende Automatisierung der bestehenden Produktionstechnik kann die Produktivität gesteigert werden.

Somit steht als momentanes Ziel zur Verbesserung der vorhandenen Produktionstechnik die Neukonstruktion der Werkzeugaufnahme und der Ablaufrinne. Um den gesamten Prozess zu automatisieren, ist es sinnvoll, eine Versuchsmaschine zu entwickeln und zu bauen. Damit besteht die Möglichkeit, Veränderungen an der Maschine auf ihre Tauglichkeit im Dauereinsatz zu testen. Mit den gewonnenen Ergebnissen kann die vorhandene Produktionstechnik verbessert werden. Ist die Versuchsmaschine so ausgereift, dass ein automatischer und mannloser Betrieb möglich ist, kann die vorhandene Produktionstechnik durch die neue Technik nach und nach ersetzt werden.



## 6. Erarbeitung eines Baureihenkonzeptes

Als Grundlage für die Erarbeitung dienen die bisher erfolgten Analysen, im Speziellen die betriebswirtschaftliche Betrachtung und die rechnerische Auslegung der Maschine unter Punkt 3.

Der prinzipielle Aufbau der Maschine bleibt, egal welche Größe, gleich. Dieser prinzipielle Aufbau ist im Kapitel 5.2. dargestellt. Als Grundlage der Auslegung einer Maschine dient die notwendige Leistung, die vom Antrieb her aufgebracht werden muss. Diese Leistung ist zum einen von den Reibungsverhältnissen und zum anderen von dem zu biegenden Drahtdurchmesser abhängig. Grundlegend ist zu sagen, dass die notwendige Leistung mit zunehmendem Drahtdurchmesser steigt. Somit erhält man die erste variable Komponente in einem Baureihenkonzept.

Eine weitere Variable wäre die Größe der Ablaufrinne. Diese ist abhängig von der zu produzierenden Länge und der Teilung der Spirale. Jedoch kann aufgrund der modularen Bauweise der Gesamtmaschine die Ablaufrinne den gewünschten maximalen Größen angepasst werden.

Die Werkzeugaufnahme für die Messer und Schnecken sind unabhängig von der Größe der Maschine. Es muss gewährleistet werden, dass jedes Werkzeug, ob Messer oder Schnecke, von der Werkzeughalterung aufgenommen werden kann.

Aufgrund der Erkenntnisse aus der wirtschaftlichen Analyse ist es sinnvoll, zwei Maschinentypen zu nutzen. Diese werden nach dem Durchmesser des zu verarbeitenden Drahtes unterschieden. Somit wird ein Baureihenkonzept durch eine kleine (bis 2,5mm Drahtdurchmesser) und eine große (2,8 – 7mm Drahtdurchmesser) Maschine definiert.

Folgend werden die variablen Baugrößen dargestellt:

- notwendige Leistung des Antriebes
- Größe der Ablaufrinne in Länge und Breite

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Aufbau beider Maschinen gleich ist. Lediglich die Unterschiede bei den Antrieben und der Ablaufrinne sind konstruktiv zu beachten. Dabei werden Veränderungen bei der Motoraufnahme und der Halterung für die Ablaufrinne notwendig.

## 7. Konstruktion von Komponenten einer Spiralwindemaschine

Die folgenden Konstruktionen wurden auf Grundlage der bisher erfolgten Analysen durchgeführt. Dabei wurde Entschieden eine Versuchsmaschine zu entwickeln. Der Grund liegt in den noch offenen Fragen, die bis jetzt noch nicht geklärt werden konnten. Aufgrund der Vielzahl an offenen Fragen wurde sich auf die Neukonstruktion der Ablaufrinne und der Schnekenaufnahme beschränkt. Weitere Komponente wie der Drahtablauf, Drahtvorspannung und automatische Abschneidvorrichtung bedürfen einer separaten Analyse. Bei der Konstruktion ist das Ziel der vollständigen Automatisierung der Maschine zu verfolgen.

### 7.1. Konstruktion und Auslegung einer Ablaufrinne

Die Ablaufrinne dient der Aufnahme und Führung der produzierten Drahtspiralen. Unter dem Aspekt der Weiterentwicklung mit dem Ziel der Mannlosen Bedienung muss ein automatischer Abtransport der Spirale ermöglicht werden.

Die hier konstruierte Ablaufrinne soll ihren Einsatz an einer kleinen Spiralwindemaschine (Drahtdurchmesser kleiner gleich 2,5mm) erhalten. Dadurch wird die Größe der Rinne eingeschränkt. Die erste Einschränkung wäre die Länge. Diese braucht nicht größer als 2m sein, da die maximal produzierte Länge einer Spirale, mit einem Drahtdurchmesser von bis zu 2,5mm, 2m beträgt. Eine weitere Einschränkung stellt die Breite der Rinne dar.

Um einen automatischen Abtransport zu realisieren ist ein einfaches aber durchaus effektives System zum Einsatz gekommen. Zum besseren Verständnis soll nachfolgende Abbildung dienen.

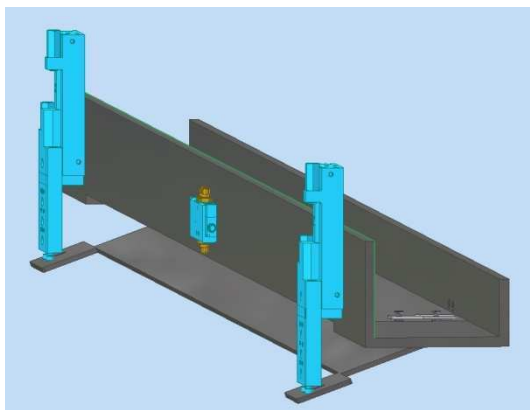


Abb. 35 Ablaufrinne mit geöffnetem Boden

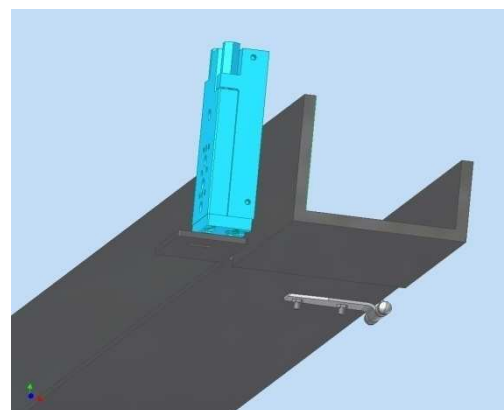


Abb. 36 Ablaufrinne geschlossen

Wie auf Abbildung 35 und 36 zu erkennen ist, wird der Boden auf einer Länge von 2m um 8cm abgesenkt. Dadurch können die produzierten Spiralen aus der Rinne herausrutschen. Ist dies geschehen schließt der Boden wieder. Der Boden ist mittels Scharniere mit dem Rahmen verbunden. Dieser Vorgang wird über 2 Pneumatikzylinder durchgeführt. Gesteuert werden diese durch ein 5/3 Wegeventil. Der Pneumatikschaltplan ist nachfolgend dargestellt.

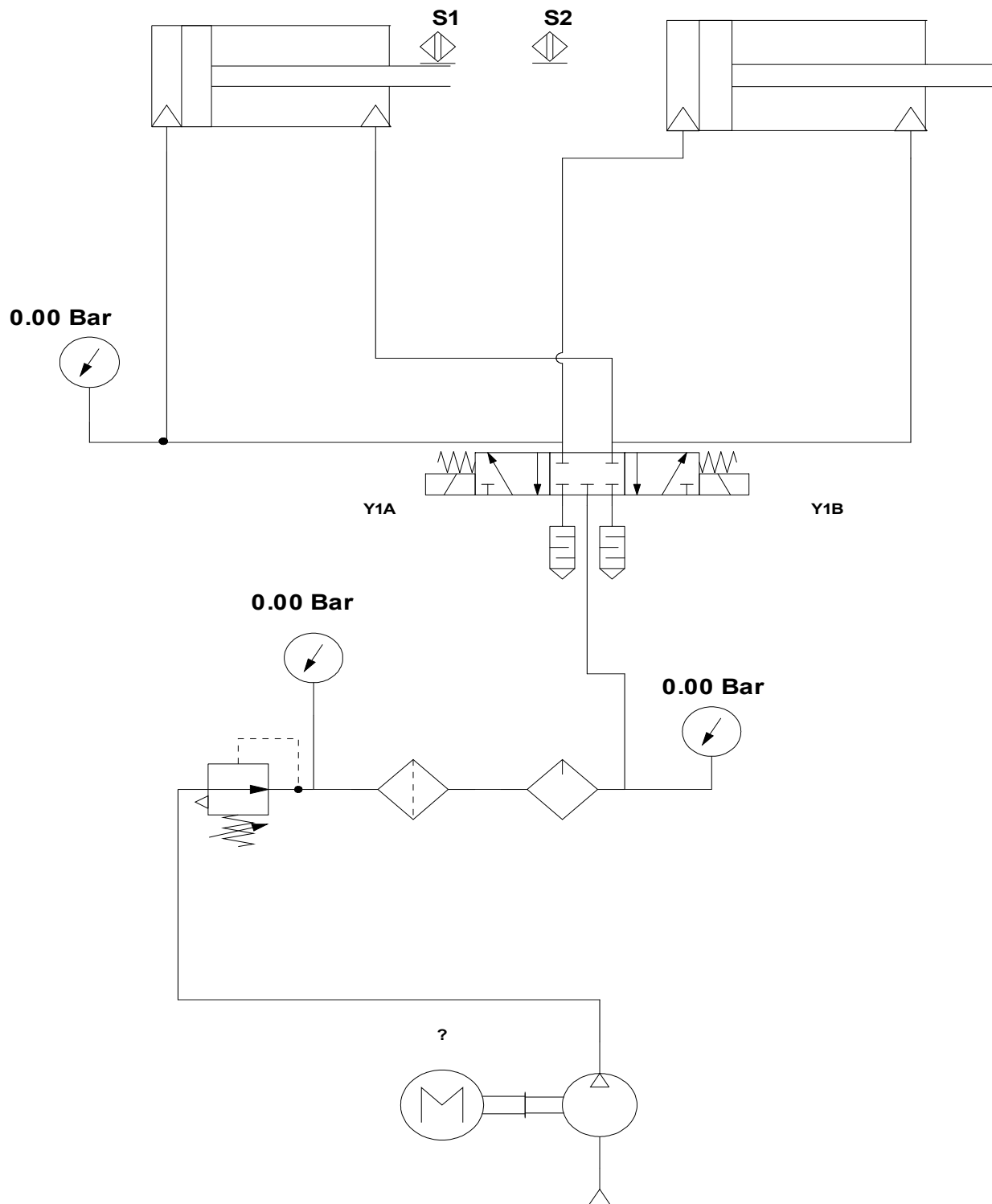


Abb. 37 Pneumatikschaltplan

Die Ansteuerung des Wegeventils erfolgt mittels einer SPS. Dabei ist zu beachten, dass die Zylinder im ausgefahrenen Zustand ca. 5sec. verharren um ein Herausrutschen der Spirale zu gewährleisten. Als Sensorik, zur Positionsbestimmung des Zylinders, dienen induktive Näherungsschalter. Da dieser Arbeitsgang pneumatisch abläuft ist eine Druckluftversorgung notwendig. Es wird ein Betriebsdruck im System von 6 bar benötigt. Da beide Zylinder über ein Wegeventil gesteuert werden ist zu beachten, dass das Wegeventil im symmetrischen Abstand zwischen den beiden Arbeitszylindern angebracht wird (gleicher Abstand). Dadurch können Druckunterschiede während des Arbeitsprozesses vermieden werden.

Rechnerische Auslegung der Pneumatik:

Um die richtigen Pneumatikzylinder auszuwählen, muss erstens geklärt sein welche Kraft diese aufbringen müssen und zweitens wie schnell diese Aus – bzw. Einfahren sollen.

Die zu bewegende Bodenplatte hat ein Eigengewicht von ca. 12,5kg. Dies ergibt eine notwendige Kraft zum Heben von 123,6N. Diese Kraft muss im extremsten Fall von einem Zylinder aufgebracht werden. Ein geeigneter Zylinder wurde von der Firma FESTO gewählt. Dessen Technische Daten sind:

- Bezeichnung: Mini – Schlitten SLT – 16 - 80 – P – A
- Kolbendurchmesser: 16mm
- Durchmesser der Kolbenstange: 8mm
- Anzahl der Kolben pro Zylinder: 2
- Ein - / Ausfahrgeschwindigkeit: 0,8m/s
- Hub: 80mm
- maximaler Betriebsdruck: 10bar
- Kraft beim Ausfahren mit 6bar Betriebsdruck: 242N
- Kraft beim Einfahren mit 6bar Betriebsdruck: 218N  
(Herstellerangaben)

Da die größte Kraft von 123,6N beim einfahren benötigt wird und diese von Zylinderseite aus bei 218N liegt, wäre ein Zylinder ausreichend um diese Last zu bewegen.

Berechnung des notwendigen Volumenstroms der anliegen muss um bei 6bar Betriebsdruck die geforderte Last zu heben berechnet sich nach folgender Formel:

$$\dot{V} = 2 \times A \times s \times v \times \frac{p_e + p_{amb}}{p_{amb}} \quad (1)$$

Wobei A die wirksame Kolbenfläche ist. Diese wird beim Ausfahren durch:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D - d)^2 \quad (2)$$

berechnet. Dabei ist D der Zylinderdurchmesser (16mm) und d der Kolbenstangendurchmesser (8mm).

Beim Einfahren wirkt jedoch nur der Zylinderdurchmesser D (16mm)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3)$$

Um den notwendigen Volumenstrom beim Ausfahren zu berechnen müssen noch alle notwendigen Variablen definiert werden:

s = 80mm (Hublänge)

v = 6/min (Anzahl der Kolbenwege)

p<sub>e</sub> = 6bar (Betriebsdruck)

p<sub>amb</sub> = 1bar (Luftdruck)

Durch einsetzen der Formel (2) in Formel (1) und aller angegebenen Variablen erhält man einen Volumenstrom:

$$\dot{V} = \underline{\underline{0,34\text{l/min}}}$$

Dieser Wert muss noch mit 4 multipliziert werden da dieser Wert nur für einen Zylinder steht, es aber 2 Mini – Schlitten mit je 2 Zylindern sind. Somit erhält man einen Volumenstrom von 1,36l/min.

Durch einsetzen der Formel (3) in Formel (1) erhält man den notwendigen Volumenstrom beim Einfahren. Dieser beträgt:

$$\dot{V} = \underline{\underline{1,351\text{l/min}}}$$

Auch dieser Wert muss mit 4, aus vorher genannten Gründen, multipliziert werden. Somit erhält man einen notwendigen Volumenstrom von 5,404l/min.

Zur Auslegung wird der größere Volumenstrom herangezogen. In diesem Fall 5,404l/min.

## 7.2. Konstruktion der Schneckenaufnahme

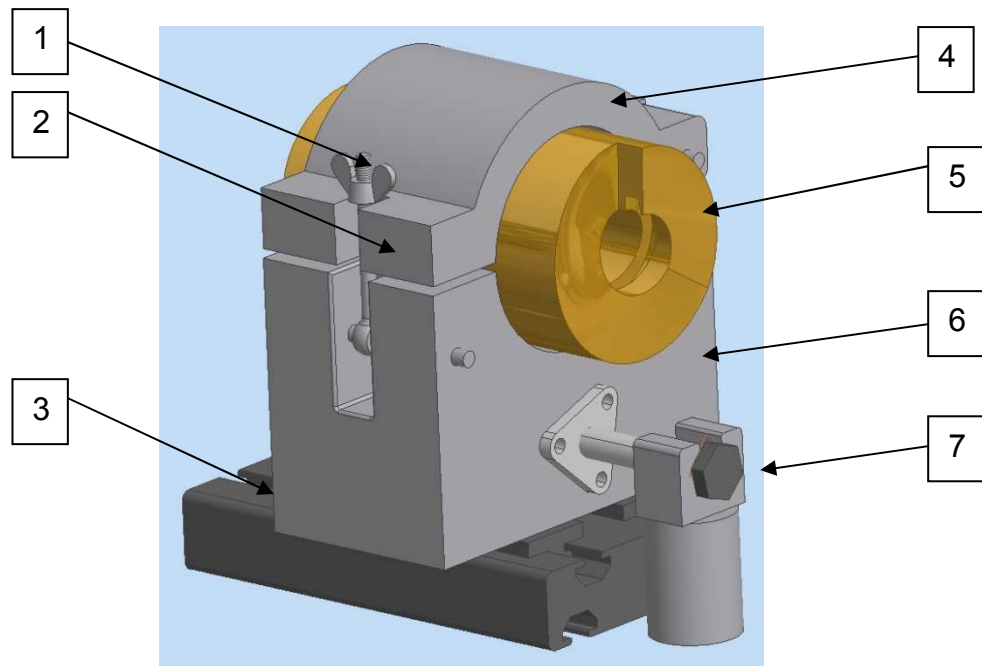


Abb. 38 Werkzeugaufnahme mit Schnecke

Auf Abbildung 38 sind alle wichtigen Komponenten der Schneckenaufnahme dargestellt.

1. Flügelmutter
2. Augenschraube
3. Gleitschlitten
4. Schneckenhalterung oben
5. Schnecke
6. Schneckenhalterung unten
7. Gewindespindel mit Gegenhalter

Durch diese simple Konstruktion kann die Schnecke schnell und einfach eingerichtet bzw. ausgewechselt werden. Desweiteren ist es möglich, mit Hilfe der Gewindespindel, eine definierte Positionierung der Schnecke durchzuführen. Dazu wird durch das Drehen der Gewindespindel die Gesamt Schneckenhalterung auf der Gleitschiene definiert verschoben. Die Gleitschiene ist mit dem Maschinenrahmen fest verbunden.

Zum auswechseln der Schnecke soll folgendes Bild zum besseren Verständnis dienen.

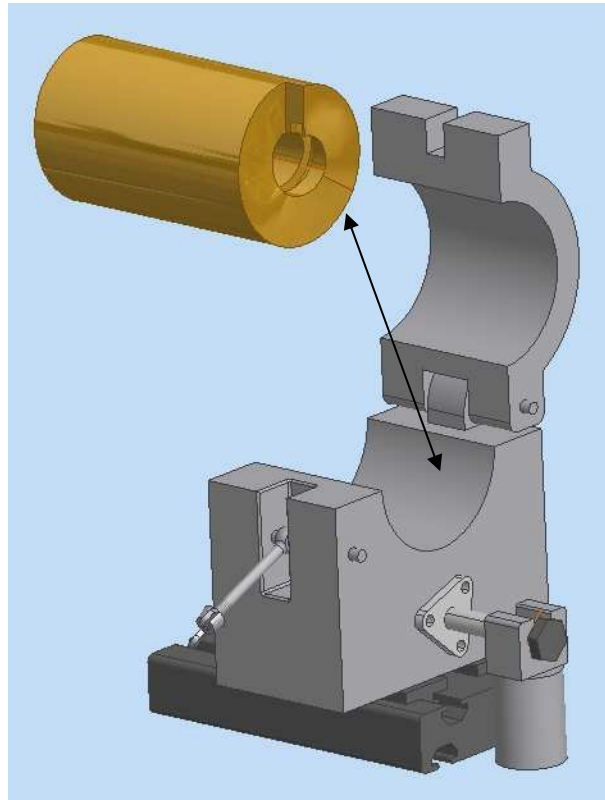


Abb. 39 Werkzeugaufnahme beim Schneckenwechsel

Durch lösen der Flügelmutter kann die Augenschraube gelockert werden und von Werkzeughalterung gelöst werden. Anschließend wird das Oberteil nach oben geschwenkt um die Schnecke heraus zu nehmen oder um die Werkzeughalterung mit einer neuen Schnecke zu bestücken. Anschließend Halterung schließen, und das Oberteil mittels Augenschraube und Flügelmutter Fixieren.

Bei geschlossener Werkzeugaufnahme wird die Schnecke gegen das Herausrutschen und Verdrehen, durch Reibung gehindert. Auf Basis der Berechnungen und des Versuchs der Momentmessung unter Punkt 3 muss die Haftreibungskraft mindesten dem Reibmoment entsprechen. Aus Sicherheitsgründen wird zur Auslegung notwendigen Haftreibung vom maximal Auftretenden Moment, von 11Nm ausgegangen.

Es gibt unterschiedliche Schneckendurchmesser:

- Ø 33mm
- Ø 53mm
- Ø 70mm
- Ø 90mm.



Mittels Adapter können auch Schnecken mit geringerem Durchmesser in die Schneckenhalterung eingebaut werden.

Rechnerische Auslegung:

Um ein Verschieben der Schnecke in der Werkzeugaufnahme zu verhindern wird eine ausreichend große Reibkraft  $F_R$  benötigt. Diese steht nach folgender Gleichung (1)

$$M_{FR} = F_R \times r_s \quad (1)$$

im direkten Zusammenhang mit dem Reibmoment  $M_{FR}$ . Mit  $r_s$  für den Schneckenradius. Das maximal auftretende Reibmoment wird dem Versuch Momentmessung (Punkt 3.2.3.) entnommen. Es beträgt 11Nm. Für den Schneckenradius  $r_s$  wird der Maximalwert von 0,045m gewählt.

Stellt man nun die Gleichung (1) nach der Reibkraft  $F_R$  um erhält man:

$$F_R = \frac{M_{FR}}{r_s} \quad (2)$$

Durch einsetzen der Werte erhält man eine notwendige Reibkraft von:

$$\rightarrow \underline{F_R \approx 255N} .$$

Diese Kraft wird über eine Augenschraube (siehe Abb. 41 Pos. 2) in Form einer Zuhaltkraft  $F_Z$  aufgebracht. Somit wirkt diese Zuhaltkraft axial. Zur Sicherheit wird ein Sicherheitsfaktor von 2 angenommen. Somit ergibt sich eine maximale Zuhaltkraft von 510N.

## **8. Ausblick**

Dieser Punkt repräsentiert Offen gebliebene und nicht bearbeitete Probleme. Weiterhin können neu erkannte Probleme benannt werden. Abschließend können auf Basis der vorgenannten Punkte Vorschläge bezüglich der weiteren Vorgehensweise gegeben werden.

### **8.1. Offen gebliebene und nicht bearbeitete Probleme**

Dieser Punkt dient der Zusammenfassung der offen gebliebenen oder nicht bearbeiteten Probleme. Diese sind durch die Analyse und das Arbeiten mit der vorhandenen Produktionstechnik festgestellt wurden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit konnten jedoch nicht alle auftretenden Probleme bearbeitet werden. Um eine Zusammenfassung der offenen Fragen zu erhalten werden diese folgend aufgeführt.

Um weitere Konstruktive Verbesserungen an der bestehenden Produktionstechnik durchführen zu können müssen weitere Parameter analysiert werden. Dabei ist eine Analyse der Einstellmöglichkeiten von Werkzeugen und deren Auswirkung auf die entstehende Drahtspirale, bezüglich ihrer Qualität, durchzuführen. Hierbei ist besonderes Augenmerk auf die Position der Verwindung des Messers zum Gewindegang der Schnecke zu legen. Eine Verwindung des Messers ist für eine qualitativ hochwertige Produktion von Drahtspiralen erforderlich. Während der Analyse der vorhandenen Produktionstechnik wurde eine These bezüglich der Rückfederung des Drahtes in Abhängigkeit der Verwindung des Messers aufgestellt. Diese These ist anhand weiterer Berechnungen und Versuche auf ihre Allgemeingültigkeit zu überprüfen. (siehe hierzu auch unter Punkt 2.6.1.1.) Durch die bisherige Analyse der Verwindung des Messers kann man feststellen, dass der Draht eine weitere Verformung durch diese Verwindung erfährt. Diese Verformung ist detailliert auf ihre Größe zu analysieren. Einen weiteren Einfluss auf die Spiralqualität hat die eingestellte Drahtvorspannung. Diese wird über ein Richtwerk eingestellt. Welchen Einfluss verschiedene Drahtvorspannungen auf die Drahtspirale haben und welche Parameter (Steigung, Verdrehung, Spiraldicke) diese beeinflusst, sind zwingend zu analysieren. Mit diesen Erkenntnissen können Möglichkeiten zur Einstellung der Drahtvorspannung erstellt werden. Alle Parameter die zum Einstellen der Werkzeuge dienen sind aufzulisten und zu dokumentieren. Es ist zu überprüfen ob die Drahtvorspannung auch über ein anderes Prinzip aufgebracht werden kann. Als erster Ansatz wurde dazu ein Ø 2,8mm Draht durch einen Ziehstein, mit einem

Innendurchmesser von 3mm gezogen. Durch den Einsatz des Ziehsteins wurde die Drahtvorspannung auf ca.  $\frac{1}{4}$  ihres Ursprungswertes reduziert. (die eigentliche Drahtvorspannung stellt sich mittels Reibung zwischen Draht und Ziehstein ein) Ein positiver Nebeneffekt stellte sich im Bereich der verbesserten Oberflächengüte des Drahtes ein. Es wäre zu analysieren ob mittels eines kleineren Ziehsteins die Komplette Drahtvorspannung über den Ziehstein aufgebracht werden kann.

Um die Produktivität der Maschine zu steigern kann auch die Produktionsgeschwindigkeit erhöht werden. Die Produktionsgeschwindigkeit wird bei einer Spiralwindemaschine durch die Drehzahl eingestellt. Es ist zu untersuchen welche Drehzahlen maximal, bei der Produktion, möglich sind. Dabei sind die zu verarbeitenden Materialien und Durchmesser zu beachten.

Als wichtigster Schritt, auf dem Weg der Automatisierung der bestehenden Produktionstechnik, ist die Entwicklung einer automatischen Abschneidvorrichtung. Diese Vorrichtung muss komplett automatisch funktionieren. Als Problem stellt sich hier der Prozess des Abschneidens dar. Grund hierfür ist die Geometrische Form der Spiralen (Eng – und Weitspirale).

Um alle Prozesse zu steuern die erforderlich sind um eine automatische Produktion zu realisieren, muss eine geeignete Steuerung eingesetzt werden. Dazu ist eine weitergehende Analyse durchzuführen, in der alle erforderlichen Parameter die zu steuern sind, festgestellt werden.

## **8.2. Neu erkannte Probleme**

Während der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit sind Probleme aufgetreten, die so nicht abzuschätzen gewesen sind.

Der Draht wird für den Fertigungsprozess auf einen drehbaren Drahtablauf gelegt. Dazu wird der Draht in Form eines Bundes bestellt und aufgelegt. Bei einem Drahtbund wird der Draht ohne Führung aufgewickelt. Dadurch kann es beim Drahtablauf zu Verfäzungen des Drahtes kommen. Diese führen zum einen zu einer Schwankung der Drahtvorspannung (muss aber konstant sein) und zum anderen zum abreißen des Drahtes, da dieser nicht mehr frei ablaufen kann. Mittels einer Überarbeitung des Drahtablaufes und der Bestellung von Draht mit Pappkern oder auf Spule gewickelt kann das Problem minimiert werden.

Ein weiteres Problem stellt das Messerwinden dar. Um einen reproduzierbaren Prozess aufzubauen müssen die Messer reproduzierbar gewunden werden können. Dabei ist eine Genauigkeit in der Größe der Verwindung (um wie viel Grad und in welchem Bereich) notwendig. Zum derzeitigen Punkt werden alle Windemesser von Hand gewunden, wodurch keine ausreichende Genauigkeit an die Gleichheit der Verwindungen unterschiedlicher Messer gegeben ist. Dieses Problem ist durch eine mechanische Vorrichtung zum definierten Messerwinden zu lösen.

Eine Überprüfung der Werkzeugform ist notwendig. Das Ziel bei der Produktion von Drahtspiralen ist es immer die optimale Form zu erhalten. Die momentane Form der Werkzeuge lässt keinen weiteren Spielraum bei der Optimierung der Geometrie der Drahtspiralen zu. Als Bsp. dient hier die Dicke der Spirale. Diese kann mit der bestehenden Werkzeugform nicht weiter optimiert werden, so dass eine Überarbeitung der Geometrie notwendig ist. Ein Ansatz wäre das Innengewinde der Schnecke konisch zu gestalten um somit, mit einem angepassten Messer, eine zusätzliche Reckung der Drahtspirale zu erzwingen. Dadurch würde sich das Maß für die Dicke der Spirale dem Optimum weiter annähern.

Der durchgeführte Versuch zur Ermittlung des maximal auftretenden Momentes, unter Punkt 3.2.3., bedarf einer weiteren Analyse. Speziell müssen dabei die Diagramme über den Momentverlauf weiter ausgewertet werden. Eine Aufteilung des gemessenen Momentes in die einzelnen Momente für Reibung, Biegung, Torsion usw. muss durchgeführt werden. Der Versuch ist auf seine Allgemeingültigkeit bezüglich der Verteilung der Momente zu untersuchen. Auch muss überprüft werden ob die Ergebnisse skalierbar auf weitere Prozesse anwendbar sind.

Als letztes neu erkanntes Problem stellt sich der Verschleiß der Werkzeuge dar. Es gibt keinerlei Anhaltspunkte ab wann ein Werkzeug verschlissen ist. Dies ist über Versuche für das Verschleißverhalten der Schnecke und der Messer zu ermitteln. Als Grundlage für solche Versuche kann der Verschleißversuch genutzt werden der schon im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt wurde. Dabei wurde der Verschleiß der Messer untersucht, wobei gleichzeitig ein Messer im PVD-Verfahren beschichtet wurde und dieses als Vergleichsmesser nutzen zu können (parallele Belastung auf beide Messer, dabei Erhöhung der Standzeit durch Beschichtung?). Der Durchgeführte Versuch mit seinen Grundlagen und Ergebnissen befindet sich in den Anlagen Teil F – Anlage F1.

## **V. Glossar**

### Pflichtenheft:

Vom Auftragnehmer erarbeitete Realisierungsvorgaben aufgrund der Umsetzung des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenheftes.

### Lastenheft:

Vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrages.

### Piktogramme

Ein Piktogramm ist ein einzelnes Symbol, das eine Information durch vereinfachte grafische Darstellungen vermittelt.

### Haspel

Eine Haspel ist eine Spulenförmige Vorrichtung zum Auf – und Abwickeln von Draht.

### Verfestigungsmodul

Der Verfestigungsmodul ist ein Modul welches die, Belastungsabhängige, Verfestigung eines Werkstoffes angibt. Dieses wird in  $\text{N/mm}^2$  angegeben.

### Rüstbetrieb

Der Rüstbetrieb ist die Betriebsform bei welcher eine Maschine eingerichtet wird.

E30| - | 2,0| 4,0

Hierbei handelt es sich um die Firmeninterne Produktbezeichnung der Drahtförderbänder.

Das E steht für Engspiralgliederbänder. Des Weiteren gibt es noch Weitspiralgliederbänder die mit einem W gekennzeichnet werden.

Der Wert 30 steht für die Teilung des Förderbandes. Diese beträgt 30mm. Mit 2,0 wird der Drahtdurchmesser beschrieben. Dieser beträgt 2,0mm. 4,0 gibt die Querstabdicke an. Diese beträgt 4,0mm.

Zur besseren Verständnis soll folgende Darstellung dienen.



B = Gurtbreite

d = Drahtdurchmesser

D = Querstabdicke

T = Teilung

## VI. Literaturverzeichnis

### Bücher

1. 1. Dipl.-Ing. Muhs, Dieter 2. Dipl.-Ing. Wittel, Herbert ...  
Roloff/Matek Maschinenelemente. – 17. Auflage. – Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, 2005
2. 1. Dipl.-Ing. Muhs, Dieter 2. Dipl.-Ing. Wittel, Herbert ...  
Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellen. – 17. Auflage. – Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, 2005
3. 1. Dipl.-Ing. Muhs, Dieter 2. Dipl.-Ing. Wittel, Herbert ...  
Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung. – 8. Auflage. – Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, 2006
4. Dr.-Ing. Weger, Hans – Jürgen:  
CAD/CAM in der Biegetechnik, Integrierte Informationsverarbeitung in der Draht und Biegetechnik. – 1. Auflage. - VDI – Verlag GmbH, 1990
5. 1. Professor Dr.-Ing. Grote, Karl-Heinrich 2. Professor Dr.-Ing. Feldhusen, Jörg:  
DUBBEL Taschenbuch für den Maschinenbau. – 21. Auflage. – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2005
6. 1. Dr.-Ing. Jahnke, Heinz 2. Prof. Dr. habil. Retzke, Reinhold 3. Dipl.-Ing. Weber, Wolfgang: Fertigungstechnik UMFORMEN. – 4. Auflage. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1971
7. 1. Prof. Dr. rer. nat habil Will, Peter 2. Prof. Dr.-Ing. Dr. paed. Dr. h.c. Lämmel, Bernd: Kleine Formelsammlung Technische Mechanik. – 3. Auflage. – München Wien: Carl Hanser Verlag, 2004
8. 1. Dipl.-Ing. Dax, Wilhelm 2. Dipl.-Ing. (FH) Drozd, Nikolaus 3. Dipl.-Ing. Itschner, Helmut: Tabellenbuch für Metalltechnik. – 12. Auflage. – Hamburg: Verlag Handwerk und Technik, 2007

9. R. – A. Schmidt:

Umformen und Feinschneiden Handbuch für Verfahre, Stahlwerkstoffe, Teilegestaltung. – 1. Auflage. – München Wien: Carl Hanser Verlag, 2007

10.1. Prof. Dr. Lipsmeier, Antonius:

Friedrich Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik. – 167. Auflage. – Troisdorf: Bildungsverlag EINS GmbH, 2006

11. Bearbeitet Kabus, Karlheinz:

Decker Maschinenelemente Funktion, Gestaltung und Berechnung. – 15. Auflage. – München / Wien: Carl Hanser Verlag 2002/2004/2006

12. Bearbeitet Kabus, Karlheinz:

Decker Maschinenelemente Tabellen und Diagramme. – 15. Auflage. – München / Wien: Carl Hanser Verlag 2002/2004/2006

13.1. Dr. Oßwald, Rolf 2. Dr. Arndt, Peter:

Gestalten und Berechnen. – 1. Auflage. – Haan – Gruiten: Verlag Europa Lehrmittel 2004

14.1. Dr. Gerlich, Dieter 2. Dr. Jerke, Götz:

Physik. – 3. Auflage. – Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum Akad. Verlag 1994

15. Heinz / Pusch / Krempe:

Technische Stoffe. – 4. Aufl. – Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1974

16. Dr. Dr. h. c. mult. Wöhe, Günter:

Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. – 17. Auflage. – München: Verlag Franz Vahlen GmbH, 1990



17.1. Brauner, Detlef Jürgen 2. Vollmer, Hans – Ullrich:

Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten. – 3. Auflage. – Sternenfels: Verlag  
Wissenschaft & Praxis Dr. Brauner GmbH, 2008

### Normen

18. MASCHINENRICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS  
UND DES RATES vom 17. Mai 2006

19. DIN EN 954 – 1 1997 – 03: Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen

20. DIN EN 60204 – 1: Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von  
Maschinen

21. DIN EN 61496 – 1: Sicherheit von Maschinen – Berührungslose wirkende  
Schutzeinrichtungen

22. DIN EN ISO 12100 – 1,2: Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeiner  
Gestaltungsleitsätze

23. DIN EN ISO 13850: Sicherheit von Maschinen – Not Halt – Gestaltungsleitsätze

24. DIN EN ISO 13857: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsabstände gegen das  
Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen

25. DIN EN 10270-1,2: Stahldraht für Federn

### Gesetze

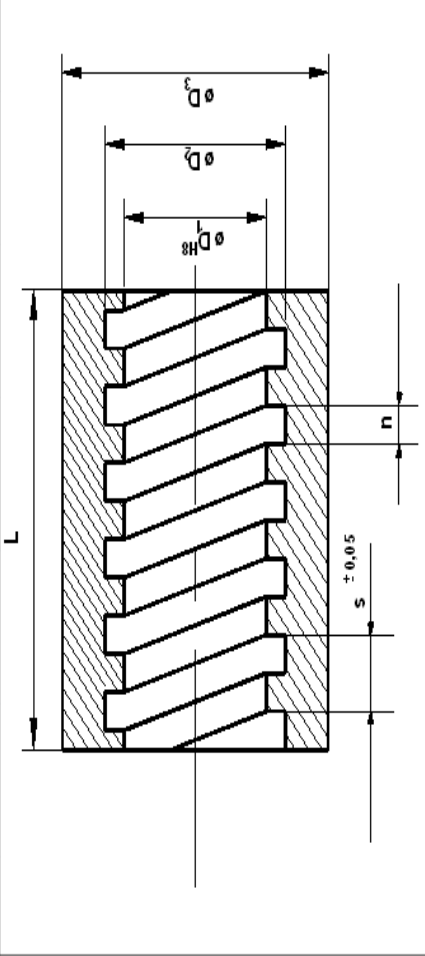
26. Unfallverhütungsvorschrift Grundsätze der Prävention (BGV A1)

## VII. Anlagenverzeichnis

Teil A – Werksnorm .....	Anlage A1 – A2
Teil B – Risikoanalyse .....	Anlage B1 – B6
Teil C – Maschinenrichtlinie .....	Anlage C1 – C11
Teil D – Materialdatenblatt zur Schnecke .....	Anlage D1
Teil E – Daten Zugversuch .....	Anlage E1
Teil F – Verschleißtest .....	Anlage F1
Teil G – Technische Zeichnungen .....	Anlage G1 – G3

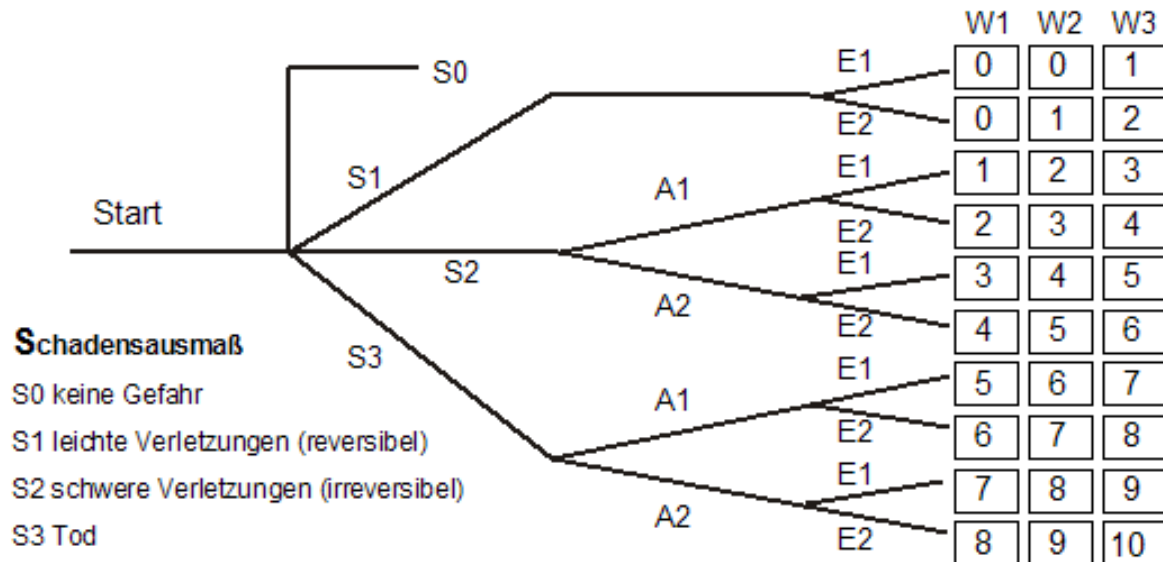
Seite XVIII

## Teil A – Anlage A2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3	Bandausführung	(d)	(d1)	D1	D2	D3	t	n	s	L
3	E 8,0/-/0,8/1,6	0,80	1,60	9,60	11,50	33,00	8,00	1,10	2,30	40,00
4	E 10/15 x 2,5	1,20	2,00	15,00	18,00	33,00	13,00	1,50	2,50	40,00
5	E 12,0/-/0,8/1,6	0,80	1,60	13,60	15,50	33,00	12,00	1,10	2,30	40,00
6	E 12,7/-/1,6/4,0	1,60	4,00	18,00	22,50	33,00	16,70	2,20	4,50	40,00
7	E 13,0/-/1,2/2,0	1,20	2,00	15,00	18,00	33,00	13,00	1,50	2,50	40,00
8	E 15,0/-/0,8/2,0	0,80	2,00	17,00	19,00	33,00	15,00	1,10	2,30	40,00
9	E 15,0/-/1,0/2,0	1,00	2,00	17,00	20,00	33,00	15,00	1,30	3,00	40,00
10	E 15,0/-/3,0/6,0	3,00	6,00	22,00	30,00*	70,00*	15,00	3,80	8,50	75,00
11	E 16,0/-/1,4/2,8	1,40	2,80	19,30	23,80	33,00	16,50	1,70	3,50	40,00
12	E 17,0/-/1,8/3,0	1,80	3,00	20,00	25,00	53,00	17,00	2,40	5,00	75,00
13	E 17,4/-/X/4,0		4,00	21,40						
14	E 18,0/-/1,0/2,0	1,00	2,00	20,00	23,00	33,00	18,00	1,30	2,70	40,00
15	E 18,0/-/0,8/2,0	0,80	2,00	20,00	22,00	33,00	18,00	1,10	2,30	40,00
16	E 19,5/-/1,4/5,0	1,40	5,00	24,50	29,00	33,00	19,50	2,00	3,50	75,00
17	E 20,0/-/1,4/2,5	1,40	2,50	22,50	27,00	53,00	20,00	2,00	3,63	75,00
18	E 21,3/-/1,4/2,5	1,40	2,50	23,80	28,30	53,00	21,30	2,00	3,63	75,00
19	E 25,4/-/1,6/8,0	1,60	8,00	34,00	41,00	53,00	25,40	2,60	5,00	75,00
20	E 26,0/-/1,6/3,15	1,60	3,15	29,20	34,00	53,00	26,00	2,20	4,50	75,00
21	E 26,0/-/2,8/3,2	2,80	3,20							
22	E 26,0/-/2,8/4,0	2,80	4,00	30,00	38,00	70,00	30,00	3,80	8,60	75,00
Schneckengeometrie										
Engspirale										

## Teil B – Anlage B1

Angewandtes Diagramm zur Risikoeinschätzung:



### Schadensausmaß

S0 keine Gefahr

S1 leichte Verletzungen (reversibel)

S2 schwere Verletzungen (irreversibel)

S3 Tod

### Aufenthaltsdauer im Gefahrenbereich

A1 selten bis öfter

A2 häufig bis dauernd

### Möglichkeit zum Erkennen und Ausweichen der Gefahr

E1 möglich unter bestimmten Umständen

E2 kaum möglich

### Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses

W1 klein (unwahrscheinlich)

W2 mittel (wird wahrscheinlich einige Male eintreten)

W3 groß (wird häufig eintreten)

## Teil B – Anlage B2

Angewandtes Diagramm nach EN 13849 zur Bestimmung des erforderlichen Performance-Level (PL):

### Schwere der Verletzung

S1: leichte Verletzung

S2: Tod oder schwere Verletzung

### Häufigkeit und Aufenthaltsdauer

F1: selten bis öfter

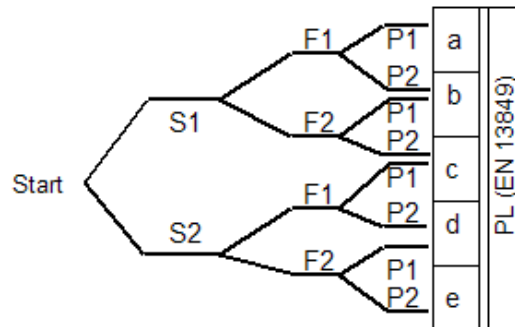
F2: häufig bis dauernd

### Möglichkeit zur Vermeidung von Gefährdungen

P1: möglich unter bestimmten Bedingungen

P2: kaum möglich

PL: Performance-Level



## Teil B – Anlage B3

Angewandte Tabelle zur Ermittlung des MTTF:

MTTF <sub>d</sub>	
Bezeichnung für jeden Kanal	Bereich für jeden Kanal
niedrig	3 Jahre ≤ MTTF <sub>d</sub> < 10 Jahre
mittel	10 Jahre ≤ MTTF <sub>d</sub> < 30 Jahre
hoch	30 Jahre ≤ MTTF <sub>d</sub> ≤ 100 Jahre

ANMERKUNG 1 Die Wahl der MTTF<sub>d</sub>-Bereiche eines Kanals basiert nach dem in der Praxis vorgefundenen Stand der Technik auf einer logarithmischen Skala, die sich der logarithmischen Skala des PL anpasst. Es wird nicht angenommen, dass ein MTTF<sub>d</sub>-Wert eines Kanals für ein reales SRP/CS kleiner als drei Jahre gefunden werden kann, denn das würde bedeuten, dass nach einem Jahr etwa 30 % aller Systeme auf dem Markt defekt sind und ersetzt werden müssten. Ein MTTF<sub>d</sub>-Wert eines Kanals größer als 100 Jahre wird nicht akzeptiert, denn ein SRP/CS für hohe Risiken sollte nicht von der Zuverlässigkeit von Bauteilen alleine abhängig sein. Um ein SRP/CS gegen systematische und zufällige Fehler zu ertüchtigen, sind zusätzliche Mittel wie Redundanzen und Tests erforderlich. Für die praktische Anwendbarkeit wurde die Zahl der Bereiche auf drei beschränkt. Die Beschränkung des MTTF<sub>d</sub>-Wertes jedes Kanals auf ein Maximum von 100 Jahren bezieht sich auf den einzelnen Kanal des SRP/CS, der die Sicherheitsfunktion ausführt. Höhere MTTF<sub>d</sub>-Werte können für einzelne Bauteile verwendet werden (siehe Tabelle D.1).

ANMERKUNG 2 Für die gezeigten Grenzwerte der Tabelle 5 wird eine Genauigkeit von 5 % angenommen.

## Teil B – Anlage B4

Angewandte Tabelle zur Ermittlung von B 10d:

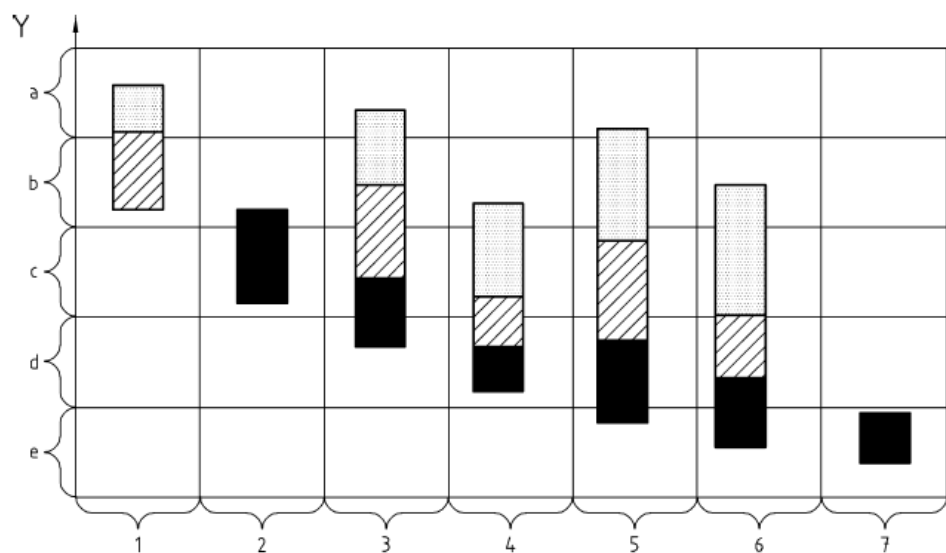
	Grundlegende und bewährte Sicherheitsprinzipien nach ISO 13849-2:2003	Andere relevante Normen	Typische Werte: MTTF <sub>d</sub> (Jahre) B <sub>10d</sub> (Zyklus)
Mechanische Bauteile	Tabellen A.1 und A.2	—	MTTF <sub>d</sub> = 150
Hydraulische Bauteile	Tabellen C.1 und C.2	EN 982	MTTF <sub>d</sub> = 150
Pneumatische Bauteile	Tabellen B.1 und B.2	EN 983	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Relais und Hilfsschütze mit geringer Last (mechanische Belastung)	Tabellen D.1 und D.2	EN 50205 IEC 61810 IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Relais und Hilfsschütze mit maximaler Belastung	Tabellen D.1 und D.2	EN 50205 IEC 61810 IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 400 000
Näherungsschalter mit geringer Last (mechanische Belastung)	Tabellen D.1 und D.2	IEC 60947 EN 1088	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Näherungsschalter mit maximaler Belastung	Tabellen D.1 und D.2	IEC 60947 EN 1088	B <sub>10d</sub> = 400 000
Schütze mit geringer Last (mechanische Belastung)	Tabellen D.1 und D.2	IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Schütze mit nominaler Last	Tabellen D.1 und D.2	IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 2 000 000

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}} \quad n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3\,600 \text{ s/h}}{t_{\text{Zyklus}}}$$

- $h_{op}$  ist die mittlere Betriebszeit in Stunden je Tag;
- $d_{op}$  ist die mittlere Betriebszeit in Tagen je Jahr;
- $t_{\text{Zyklus}}$  ist die mittlere Zeit zwischen dem Beginn zweier aufeinander folgenden Zyklen des Bauteils (z. B. Schalten eines Ventils) in Sekunden je Zyklus.

## Teil B – Anlage B5

Angewandtes Diagramm nach EN 13849 zur Bestimmung des erreichten Performance-Level (PL):



- 1 Kategorie B DC<sub>avg</sub> = 0
- 2 Kategorie 1 DC<sub>avg</sub> = 0
- 3 Kategorie 2 DC<sub>avg</sub> = niedrig
- 4 Kategorie 2 DC<sub>avg</sub> = mittel
- 5 Kategorie 3 DC<sub>avg</sub> = niedrig
- 6 Kategorie 3 DC<sub>avg</sub> = mittel

- 7 Kategorie 4 DC<sub>avg</sub> = hoch
- Y Performance Level
- MTTF<sub>d</sub> = niedrig
- ▨ MTTF<sub>d</sub> = mittel
- MTTF<sub>d</sub> = hoch



## Teil B – Anlage B6

Angewandte Tabellen zur Bestimmung des erforderlichen Safety Integrated Level (SIL) nach EN 62061:

Auswirkungen	Schwere (S)
irreversibel: Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4
irreversibel: gebrochene Gliedmaßen, Verlust (eines) mehrerer Finger(s)	3
reversibel: Behandlung durch einen Mediziner erforderlich	2
reversibel: Erste Hilfe erforderlich	1

Häufigkeit und Dauer der Exposition (F)	
Häufigkeit der Exposition	Dauer > 10 min
≤ 1 h	5
> 1 h bis ≤ 1 Tag	5
> 1 Tag bis ≤ 2 Wochen	4
> 2 Wochen bis ≤ 1 Jahr	3
> 1 Jahr	2

Wahrscheinlichkeit des Auftretens	Wahrscheinlichkeit (W)
sehr hoch	5
wahrscheinlich	4
möglich	3
selten	2
vernachlässigbar	1

Möglichkeit <sup>3)</sup> der Vermeidung oder Begrenzung des Schadens (P)	
unmöglich	5
selten	3
wahrscheinlich	1

$$K = S + F + W + P$$

Schwere (S)	Klasse (K)				
	3 bis 4	5 bis 7	8 bis 10	11 bis 13	14 bis 15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		(AM)	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			(AM)	SIL 1	SIL 2
1				(AM)	SIL 1

## Teil C – Anlage C1

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### 1.1.2. **Grundsätze für die Integration der Sicherheit**

- a) Die Maschine ist so zu konstruieren und zu bauen, dass sie ihrer Funktion gerecht wird und unter den vorgesehenen Bedingungen — aber auch unter Berücksichtigung einer vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung der Maschine — Betrieb, Einrichten und Wartung erfolgen kann, ohne dass Personen einer Gefährdung ausgesetzt sind.  
Die getroffenen Maßnahmen müssen darauf abzielen, Risiken während der voraussichtlichen Lebensdauer der Maschine zu beseitigen, einschließlich der Zeit, in der die Maschine transportiert, montiert, demontiert, außer Betrieb gesetzt und entsorgt wird.
- b) Bei der Wahl der angemessensten Lösungen muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter folgende Grundsätze anwenden, und zwar in der angegebenen Reihenfolge:
- Beseitigung oder Minimierung der Risiken so weit wie möglich (Integration der Sicherheit in Konstruktion und Bau der Maschine);
  - Ergreifen der notwendigen Schutzmaßnahmen gegen Risiken, die sich nicht beseitigen lassen;
  - Unterrichtung der Benutzer über die Restrisiken aufgrund der nicht vollständigen Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen; Hinweis auf eine eventuell erforderliche spezielle Ausbildung oder Einarbeitung und persönliche Schutzausrüstung.
- c) Bei der Konstruktion und beim Bau der Maschine sowie bei der Ausarbeitung der Betriebsanleitung muss der Hersteller oder sein Bevollmächtigter nicht nur die bestimmungsgemäße Verwendung der Maschine, sondern auch jede vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung der Maschine in Betracht ziehen. Die Maschine ist so zu konstruieren und zu bauen, dass eine nicht bestimmungsgemäße Verwendung verhindert wird, falls diese ein Risiko mit sich bringt. Gegebenenfalls ist in der Betriebsanleitung auf Fehlanwendungen der Maschine hinzuweisen, die erfahrungsgemäß vorkommen können.
- d) Bei der Konstruktion und beim Bau der Maschine muss den Belastungen Rechnung getragen werden, denen das Bedienungspersonal durch die notwendige oder voraussichtliche Benutzung von persönlichen Schutzausrüstungen ausgesetzt sind.
- e) Die Maschine muss mit allen Spezialausrüstungen und Zubehörteilen geliefert werden, die eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass die Maschine sicher eingerichtet, gewartet und betrieben werden kann.

## Teil C – Anlage C2

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### **Materialien und Produkte**

Die für den Bau der Maschine eingesetzten Materialien oder die bei ihrem Betrieb verwendeten oder entstehenden Produkte dürfen nicht zur Gefährdung der Sicherheit und der Gesundheit von Personen führen. Insbesondere bei der Verwendung von Fluiden muss die Maschine so konstruiert und gebaut sein, dass sie ohne Gefährdung aufgrund von Einfüllung, Verwendung, Rückgewinnung und Beseitigung benutzt werden kann.

## Teil C – Anlage C3

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### **Bedienungsplätze**

Der Bedienungsplatz muss so gestaltet und ausgeführt sein, dass Risiken aufgrund von Abgasen und/oder Sauerstoffmangel vermieden werden.

Ist die Maschine zum Einsatz in einer gefährlichen Umgebung vorgesehen, von der Risiken für Sicherheit und

Gesundheit des Bedieners ausgehen, oder verursacht die Maschine selbst eine gefährliche Umgebung, so sind

geeignete Einrichtungen vorzusehen, damit gute Arbeitsbedingungen für den Bediener gewährleistet sind und

er gegen vorhersehbare Gefährdungen geschützt ist.

Gegebenenfalls muss der Bedienungsplatz mit einer geeigneten Kabine ausgestattet sein, die so konstruiert, gebaut und/oder ausgerüstet ist, dass die vorstehenden Anforderungen erfüllt sind. Der Ausstieg muss ein schnelles Verlassen der Kabine gestatten. Außerdem ist gegebenenfalls ein Notausstieg vorzusehen, der in eine

andere Richtung weist als der Hauptausstieg.

## Teil C – Anlage C4

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### **Stellteile**

Stellteile müssen

— deutlich sichtbar und erkennbar sein; wenn geeignet, sind Piktogramme zu verwenden;

— so angebracht sein, dass sie sicher, unbedenklich, schnell und eindeutig betätigt werden können;

— so gestaltet sein, dass das Betätigen des Stellteils mit der jeweiligen Steuerwirkung kohärent ist;

— außerhalb der Gefahrenbereiche angeordnet sein, erforderlichenfalls mit Ausnahme bestimmter Stellteile wie NOT-HALT-Befehlsgeräte und Handprogrammiergeräte;

— so angeordnet sein, dass ihr Betätigen keine zusätzlichen Risiken hervorruft;

— so gestaltet oder geschützt sein, dass die beabsichtigte Wirkung, falls sie mit einer Gefährdung verbunden

sein kann, nur durch eine absichtliche Betätigung erzielt werden kann;

— so gefertigt sein, dass sie vorhersehbaren Beanspruchungen standhalten; dies gilt insbesondere für Stellteile

von NOT-HALT-Befehlsgeräten, die hoch beansprucht werden können.

Ist ein Stellteil für mehrere verschiedene Wirkungen ausgelegt und gebaut, d. h., ist seine Wirkung nicht eindeutig,

so muss die jeweilige Steuerwirkung unmissverständlich angezeigt und erforderlichenfalls bestätigt werden.

Stellteile müssen so gestaltet sein, dass unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien ihre Anordnung, ihre

Bewegungsrichtung und ihr Betätigungswiderstand mit der Steuerwirkung kompatibel sind.

Die Maschine muss mit den für sicheren Betrieb notwendigen Anzeigeeinrichtungen und Hinweisen ausgestattet

sein. Das Bedienungspersonal muss diese vom Bedienungsstand aus einsehen können.

Von jedem Bedienungsplatz aus muss sich das Bedienungspersonal vergewissern können, dass niemand sich

in den Gefahrenbereichen aufhält, oder die Steuerung muss so ausgelegt und gebaut sein, dass das Ingangsetzen

verhindert wird, solange sich jemand im Gefahrenbereich aufhält.

Ist das nicht möglich, muss die Steuerung so ausgelegt und gebaut sein, dass dem Ingangsetzen ein akustisches

und/oder optisches Warnsignal vorgeschaltet ist. Einer gefährdeten Person muss genügend Zeit bleiben, um den Gefahrenbereich zu verlassen oder das Ingangsetzen der Maschine zu verhindern.

Falls erforderlich, ist dafür zu sorgen, dass die Maschine nur von Bedienungsständen aus bedient werden kann, die sich in einer oder mehreren vorher festgelegten Zonen oder an einem oder mehreren vorher festgelegten Standorten befinden.

Sind mehrere Bedienungsplätze vorhanden, so muss die Steuerung so ausgelegt sein, dass die Steuerung jeweils nur von einem Bedienungsplatz aus möglich ist; hiervon ausgenommen sind Befehlseinrichtungen zum Stillsetzen und Nothalt.

Verfügt eine Maschine über mehrere Bedienungsstände, so muss jeder Bedienungsstand mit allen erforderlichen

Befehlseinrichtungen ausgestattet sein, wobei auszuschließen ist, dass sich das Bedienungspersonal gegenseitig behindert oder in eine Gefährdungssituation bringt.

## Teil C – Anlage C5

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### **Ingangsetzen**

Das Ingangsetzen einer Maschine darf nur durch absichtliches Betätigen einer hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung möglich sein.

Dies gilt auch

— für das Wiederingangsetzen nach einem Stillstand, ungeachtet der Ursache für diesen Stillstand;

— für eine wesentliche Änderung des Betriebszustands.

Gleichwohl kann das Wiederingangsetzen oder die Änderung des Betriebszustands durch absichtliches Betätigen

einer anderen Einrichtung als der hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung möglich sein, sofern dadurch keine Gefährdungssituation entsteht.

Bei Maschinen, die im Automatikbetrieb arbeiten, darf das Ingangsetzen oder Wiederingangsetzen nach einer

Abschaltung und die Änderung ihres Betriebszustands ohne Bedienereingriff möglich sein, sofern dies nicht zu einer Gefährdungssituation führt.

Verfügt eine Maschine über mehrere Befehlseinrichtungen für das Ingangsetzen und führt dies dazu, dass sich

das Bedienungspersonal gegenseitig gefährden kann, so sind zusätzliche Einrichtungen einzubauen, um derartige

Risiken auszuschließen. Wenn es aus Sicherheitsgründen erforderlich ist, dass das Ingangsetzen und/oder das Stillsetzen in einer bestimmten Reihenfolge erfolgt, müssen Einrichtungen vorhanden sein, die die Einhaltung

der richtigen Abfolge bei diesen Bedienungsvorgängen sicherstellen.

### **Stillsetzen im Notfall**

Jede Maschine muss mit einem oder mehreren NOT-HALT-Befehlsgeräten ausgerüstet sein, durch die eine unmittelbar drohende oder eintretende Gefahr vermieden werden kann.

Hiervon ausgenommen sind

— Maschinen, bei denen durch das NOT-HALT-Befehlsgerät das Risiko nicht gemindert werden kann, da das

NOT-HALT-Befehlsgerät entweder die Zeit des Stillsetzens nicht verkürzt oder es nicht ermöglicht, besondere,

wegen des Risikos erforderliche Maßnahmen zu ergreifen;

— handgehaltene und/oder handgeführte Maschinen.

Das NOT-HALT-Befehlsgerät muss

— deutlich erkennbare, gut sichtbare und schnell zugängliche Stellteile haben;

— den gefährlichen Vorgang möglichst schnell zum Stillstand bringen, ohne dass dadurch zusätzliche Risiken

entstehen;

— erforderlichenfalls bestimmte Sicherungsbewegungen auslösen oder ihre Auslösung zulassen.

## Teil C – Anlage C6

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### ***Wahl der Steuerungs- oder Betriebsarten***

Die gewählte Steuerungs- oder Betriebsart muss allen anderen Steuerungs- und Betriebsfunktionen außer dem

NOT-HALT übergeordnet sein.

Ist die Maschine so konstruiert und gebaut, dass mehrere Steuerungs- oder Betriebsarten mit unterschiedlichen

Schutzmaßnahmen und/oder Arbeitsverfahren möglich sind, so muss sie mit einem in jeder Stellung abschließbaren Steuerungs- und Betriebsartenwahlschalter ausgestattet sein. Jede Stellung des Wahlschalters

muss deutlich erkennbar sein und darf nur einer Steuerungs- oder Betriebsart entsprechen.

Der Wahlschalter kann durch andere Wahleinrichtungen ersetzt werden, durch die die Nutzung bestimmter Funktionen der Maschine auf bestimmte Personenkreise beschränkt werden kann.

Ist für bestimmte Arbeiten ein Betrieb der Maschine bei geöffneter oder abgenommener trennender Schutzeinrichtung

und/oder ausgeschalteter nichttrennender Schutzeinrichtung erforderlich, so sind der entsprechenden Stellung des Steuerungs- und Betriebsartenwahlschalters gleichzeitig folgende Steuerungsvorgaben zuzuordnen:

— Alle anderen Steuerungs- oder Betriebsarten sind nicht möglich;

— der Betrieb gefährlicher Funktionen ist nur möglich, solange die entsprechenden Befehlseinrichtungen betätigt werden;

— der Betrieb gefährlicher Funktionen ist nur unter geringeren Risikobedingungen möglich, und Gefährdungen,

die sich aus Befehlsverkettungen ergeben, werden ausgeschaltet;

— der Betrieb gefährlicher Funktionen durch absichtliche oder unabsichtliche Einwirkung auf die Sensoren der Maschine ist nicht möglich.

Können diese vier Voraussetzungen nicht gleichzeitig erfüllt werden, so muss der Steuerungs- oder Betriebsartenwahlschalter

andere Schutzmaßnahmen auslösen, die so angelegt und beschaffen sind, dass ein sicherer Arbeitsbereich gewährleistet ist.

Vom Betätigungsplatz des Wahlschalters aus müssen sich die jeweils betriebenen Maschinenteile steuern lassen

## Teil C – Anlage C7

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### ***Risiken durch bewegliche Teile***

Die beweglichen Teile der Maschine müssen so konstruiert und gebaut sein, dass Unfallrisiken durch Berührung

dieser Teile verhindert sind; falls Risiken dennoch bestehen, müssen die beweglichen Teile mit trennenden oder nichttrennenden Schutzeinrichtungen ausgestattet sein.

Es müssen alle erforderlichen Vorkehrungen getroffen werden, um ein ungewolltes Blockieren der beweglichen

Arbeitselemente zu verhindern. Kann es trotz dieser Vorkehrungen zu einer Blockierung kommen, so müssen gegebenenfalls die erforderlichen speziellen Schutzeinrichtungen und das erforderliche Spezialwerkzeug

mitgeliefert werden, damit sich die Blockierung gefahrlos lösen lässt.

Auf die speziellen Schutzeinrichtungen und deren Verwendung ist in der Betriebsanleitung und nach Möglichkeit

auf der Maschine selbst hinzuweisen.

## Teil C – Anlage C8

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### ***Ausrutsch-, Stolper- und Sturzrisiko***

Die Teile der Maschine, auf denen Personen sich eventuell bewegen oder aufhalten müssen, müssen so konstruiert und gebaut sein, dass ein Ausrutschen, Stolpern oder ein Sturz auf oder von diesen Teilen vermieden wird.

Diese Teile müssen erforderlichenfalls mit Haltevorrichtungen ausgestattet sein, die benutzerbezogen angebracht sind und dem Benutzer einen sicheren Halt ermöglichen.

## Teil C – Anlage C9

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### ***Informationen und Warnhinweise an der Maschine***

Informationen und Warnhinweise an der Maschine sollten vorzugsweise in Form leicht verständlicher Symbole oder Piktogramme gegeben werden. Alle schriftlichen oder verbalen Informationen und Warnhinweise müssen in der bzw. den Amtssprachen der Gemeinschaft abgefasst sein, die gemäß dem Vertrag von dem Mitgliedstaat, in dem die Maschinen in den Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen wird, bestimmt werden kann bzw. können, und auf Verlangen können sie zusätzlich auch in jeder anderen vom Bedienungspersonal verstandenen Amtssprache bzw. Amtssprachen der Gemeinschaft abgefasst sein.

## Teil C – Anlage C10

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### ***Kennzeichnung der Maschinen***

Auf jeder Maschine müssen mindestens folgende Angaben erkennbar, deutlich lesbar und dauerhaft angebracht sein:

- Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers und gegebenenfalls seines Bevollmächtigten,
- Bezeichnung der Maschine,
- CE-Kennzeichnung (siehe Anhang III),
- Baureihen- oder Typbezeichnung,
- gegebenenfalls Seriennummer,
- Baujahr, d. h. das Jahr, in dem der Herstellungsprozess abgeschlossen wurde.

Es ist untersagt, bei der Anbringung der CE-Kennzeichnung das Baujahr der Maschine vor- oder nachzutätieren.

Ist die Maschine für den Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung konstruiert und gebaut, muss sie einen entsprechenden Hinweis tragen.

Je nach Beschaffenheit müssen auf der Maschine ebenfalls alle für die Sicherheit bei der Verwendung wesentlichen

Hinweise angebracht sein. Diese Hinweise unterliegen den Anforderungen der Nummer 1.7.1.

Muss ein Maschinenteil während der Benutzung mit Hebezeugen gehandhabt werden, so ist sein Gewicht leserlich, dauerhaft und eindeutig anzugeben.

## Teil C – Anlage C11

Nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

### ***Betriebsanleitung***

Jeder Maschine muss eine Betriebsanleitung in der oder den Amtssprachen der Gemeinschaft des Mitgliedstaats

beiliegen, in dem die Maschine in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen wird.

Die der Maschine beiliegende Betriebsanleitung muss eine „Originalbetriebsanleitung“ oder eine „Übersetzung

der Originalbetriebsanleitung“ sein; im letzteren Fall ist der Übersetzung die Originalbetriebsanleitung beizufügen

## Teil D – Anlage D1

# Technische Informationen

## Werkstoffblatt AMPCO 21

### Rundstangen und Rechteckstangen stranggepresst und gerichtet

**Richtanalyse:**

Aluminium	(Al)	13.1%
Eisen	(Fe)	4.4%
Mangan	(Mn)	2.0%
Sonstiges		0.5% max.
Kupfer	(Cu)	Rest

**Mechanische und physikalische Werte**

Eigenschaften	Masseinheit	Nominalwerte		
		Bis 50,8 Ø	Über 50,8 Ø	Rechteckstangen
Zugfestigkeit $R_m$	MPa	758	724	758
Streckgrenze $R_{p0.2}$	MPa	420	407	420
Bruchdehnung $A_5$	%	1	1	1
Brinellhärte	HB 30	286	286	286
Rockwellhärte	HRC	29	29	29
Einschnürung $\psi$	%	...	...	0.5
Druckfestigkeit $R_{mc}$	MPa	1227	...	1108
Quetschgrenze, 0.1% permanente Deformation	MPa	421	...	343
Elast. Proportionalgrenze bei Druckbelastung $R_{pc}$	MPa	200	...	...
Scherfestigkeit $R_{sm}$	MPa	...	...	413
Elastizitätsmodul $E$	GPa	110	110	110
Kerbschlagarbeit aK nach Charpy (keyhole)	J	2.7	2.7	2.7
Kerbschlagarbeit aK nach Izod	J	2.7	2.7	2.7
Spezifische Dichte $\rho$	$g / cm^3$	7.2		
Wärmeausdehnungszahl $\alpha$	$10^{-6} / ^\circ K$	16.2		
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	$W / m \cdot ^\circ K$	46		
Elektrische Leitfähigkeit $\gamma$	$m / \Omega \cdot mm^2$	6		
Elektrische Leitfähigkeit	% I.A.C.S.	10		
Spezifische Wärme $c_p$	$J / g \cdot ^\circ K$	0.42		

Zusagen bezüglich des Vorhandenseins bestimmter Eigenschaften oder des Verwendungszweckes bedürfen stets einer schriftlichen Vereinbarung.

**Charakteristik und Anwendungen:**

Entsprechend der niedrigen Bruchdehnung wird AMPCO 21 weniger bei Schlag- und Stossbelastung eingesetzt als vielmehr dort, wo starke Druckbelastungen und hohe mechanische Verschleissangriffe gegeben sind. Dementsprechend stellen Führungen der verschiedensten Art, Werkstückauflagen für spitzenlose Schleifmaschinen, Richtbacken, Biegewerkzeuge und dergleichen bevorzugte Anwendungsgebiete dar.

Die in einer grossen Auswahl an Querschnitten zur Verfügung stehenden Vierkantleisten ermöglichen die Herstellung von Gleitelementen in höchst wirtschaftlicher Weise.

**Bearbeitbarkeit:**

Hartmetallbestückte Werkzeuge sind für die Zerspaltung von AMPCO 21 zu empfehlen, obwohl bei Mengen geringeren Umfangs auch gute HSS-Werkzeuge verwendet werden können. Das Bohren und Gewindeschneiden ist etwas schwieriger als bei den weniger harten AMPCO-Metall-Legierungen, jedoch ohne weiteres durchführbar. Auf die einschlägigen Technischen Informationen über die Bearbeitung von AMPCO-Metall wird hingewiesen.



## Teil E – Anlage E1

Zeitpunkt	Zeit_s	Kraft_N	"Position"		Spannung in [N/mm <sup>2</sup> ]	Dehnung in [%]	Weg s
			Position_mm #	Weg_F_mm			
t0	0	8,353624	#	180,668198	2,6590411	0,37122111	
t22	1	192,133341	0	180,696793	61,1579419	0,38710722	
t44	1	375,913059	0	180,772598	119,656843	0,42922111	
t66	2	559,692777	0	180,849792	178,155744	0,47210667	
t88	2	794	0	180,929794	252,73805	0,51655222	
t110	2	1004,40002	1	181,011002	319,710457	0,56166778	
t132	3	1147,80005	1	181,091797	365,356103	0,60655389	
t154	3	1234,19995	1	181,172394	392,858046	0,65133	
t176	4	1282	1	181,253006	408,073274	0,69611444	0,584808
t198	4	1304,80005	1	181,333206	415,330755	0,74067	
t220	5	1316,19995	1	181,413406	418,959457	0,78522556	
t242	5	1322,59998	1	181,493607	420,996648	0,82978167	
t264	5	1325,5	1	181,5728	421,919754	0,87377778	
t286	6	1329,09998	1	181,652405	423,065662	0,91800278	
t308	6	1331,90002	1	181,731201	423,956945	0,96177833	
t330	7	1334,80005	2	181,810593	424,880052	1,005885	
t352	7	1334,80005	2	181,890594	424,880052	1,05033	
t374	8	1339,80005	2	181,970795	426,471601	1,09488611	
t396	8	1341,19995	2	182,049606	426,917204	1,13867	
t418	9	1341,90002	2	182,128204	427,140044	1,18233556	
t440	9	1345,5	2	182,208206	428,285952	1,22678111	
t462	9	1346,19995	2	182,288193	428,508753	1,27121833	
t484	10	1349	2	182,368393	429,400036	1,31577389	
t506	10	1351,19995	2	182,447601	430,100303	1,35977833	
t528	11	1353,30005	2	182,526398	430,768785	1,40355444	
t550	11	1353,30005	3	182,605194	430,768785	1,44733	
t572	12	1355,5	3	182,685196	431,469051	1,49177556	
t594	12	1356,90002	3	182,765198	431,914692	1,53622111	
t616	13	1360,40002	3	182,845001	433,028777	1,58055611	
t638	13	1361,90002	3	182,924606	433,506242	1,62478111	
t660	13	1364	3	183,003204	434,174685	1,66844667	
t682	14	1365,40002	3	183,081802	434,620326	1,71211222	
t704	14	1368,30005	3	183,161407	435,543433	1,75633722	
t726	15	1369,69995	3	183,242203	435,989036	1,80122389	
t748	15	1371,90002	3	183,322403	436,68934	1,84577944	
t770	16	1374	4	183,401596	437,357784	1,88977556	
t792	16	1375,40002	4	183,480606	437,803425	1,93367	
t814	16	1378,30005	4	183,559204	438,726532	1,97733556	
t836	17	1379,69995	4	183,638596	439,172134	2,02144222	
t858	17	1383,30005	4	183,718399	440,318081	2,06577722	
t880	18	1385,40002	4	183,798599	440,986524	2,11033278	
t902	18	1387,59998	4	183,878601	441,68679	2,15477833	

# Anlagen

t924	19	1389,69995	4	183,957397	442,355233	2,19855389	
				"Position"	Spannung	Dehnung	Weg
Zeitpunkt	Zeit_s	Kraft_N	Position_mm	Weg_F_mm	in [N/mm <sup>2</sup> ]	in [%]	s
t990	20	1395,40002	5	184,195801	444,169623	2,33100056	
t1012	20	1396,80005	5	184,275803	444,615265	2,37544611	
t1034	21	1400,40002	5	184,355804	445,761172	2,41989111	
t1056	21	1402,5	5	184,434402	446,429615	2,46355667	
t1078	22	1404	5	184,512802	446,90708	2,50711222	
t1100	22	1407,5	5	184,591995	448,021165	2,55110833	
t1122	23	1407,5	5	184,672607	448,021165	2,59589278	
t1144	23	1410,40002	5	184,753204	448,944271	2,64066889	
t1166	24	1412,5	5	184,832199	449,612714	2,684555	
t1188	24	1414,69995	5	184,910797	450,31298	2,72822056	
t1210	24	1416,80005	6	184,989395	450,981462	2,77188611	
t1232	25	1418,19995	6	185,068802	451,427065	2,81600111	
t1254	25	1420,40002	6	185,149597	452,12737	2,86088722	
t1276	26	1421,80005	6	185,229996	452,573012	2,90555333	
t1298	26	1423,19995	6	185,309204	453,018614	2,94955778	
t1320	27	1426,80005	6	185,387802	454,164561	2,99322333	
t1342	27	1428,19995	6	185,466797	454,610164	3,03710944	
t1364	27	1429,69995	6	185,546204	455,087629	3,08122444	
t1386	28	1431,80005	6	185,626205	455,756111	3,12566944	
t1408	28	1432,5	6	185,706604	455,978912	3,17033556	
t1430	29	1434,59998	7	185,786606	456,647355	3,21478111	
t1452	29	1434,59998	7	185,865601	456,647355	3,25866722	
t1474	30	1440,40002	7	185,944199	458,493568	3,30233278	
t1496	30	1439,59998	7	186,023193	458,238905	3,34621833	
t1518	31	1441,80005	7	186,1026	458,939209	3,39033333	
t1540	31	1443,19995	7	186,1828	459,384812	3,43488889	
t1562	31	1445,30005	7	186,263199	460,053294	3,479555	
t1584	32	1446,80005	7	186,343002	460,530759	3,52389	
t1606	32	1447,5	7	186,422195	460,75356	3,56788611	
t1628	33	1448,19995	7	186,500793	460,976362	3,61155167	
t1650	33	1451,80005	8	186,579605	462,122308	3,65533611	
t1672	34	1452,5	8	186,658997	462,34511	3,69944278	
t1694	34	1453,90002	8	186,739395	462,790751	3,74410833	
t1716	35	1456	8	186,819794	463,459194	3,78877444	
t1738	35	1456	8	186,899399	463,459194	3,83299944	
t1760	35	1458,90002	8	186,978195	464,382301	3,876775	
t1782	36	1460,30005	8	187,057007	464,827942	3,92055944	
t1804	36	1459,59998	8	187,1362	464,605102	3,96455556	
t1826	37	1461,80005	8	187,2164	465,305407	4,00911111	
t1848	37	1463,19995	8	187,296402	465,75101	4,05355667	
t1870	38	1463,90002	9	187,376602	465,97385	4,09811222	
t1892	38	1466,69995	9	187,4552	466,865094	4,14177778	
t1914	38	1466,69995	9	187,533997	466,865094	4,18555389	
t1936	39	1468,19995	9	187,613205	467,342559	4,22955833	

# Anlagen

t1958	39	1468,90002		9	187,693405	467,565399	4,27411389	
					"Position"	Spannung	Dehnung	Weg
Zeitpunkt	Zeit_s	Kraft_N	Position_mm	Weg_F_mm		in [N/mm <sup>2</sup> ]	in [%]	s
t2046	41	1473,90002		9	188,011398	469,156949	4,45077667	
t2068	42	1473,90002		9	188,090195	469,156949	4,49455278	
t2090	42	1474,59998	#		188,169998	469,379751	4,53888778	
t2112	42	1476,69995	#		188,250198	470,048193	4,58344333	
t2134	43	1478,90002	#		188,3302	470,748498	4,62788889	
t2156	43	1479,59998	#		188,410202	470,9713	4,67233444	
t2178	44	1481,69995	#		188,489197	471,639743	4,71622056	
t2200	44	1481	#		188,568207	471,416941	4,760115	
t2222	45	1481,69995	#		188,647598	471,639743	4,80422111	
t2244	45	1483,19995	#		188,726593	472,117208	4,84810722	
t2266	46	1483,90002	#		188,806396	472,340048	4,89244222	
t2288	46	1485,30005	#		188,886993	472,78569	4,93721833	
t2310	46	1485,30005	#		188,9664	472,78569	4,98133333	
t2332	47	1487,40002	#		189,046005	473,454132	5,02555833	
t2354	47	1488,19995	#		189,125397	473,708757	5,069665	
t2376	48	1488,19995	#		189,204193	473,708757	5,11344056	
t2398	48	1489,59998	#		189,283203	474,154399	5,157335	
t2420	49	1489,59998	#		189,362396	474,154399	5,20133111	
t2442	49	1491	#		189,4422	474,60004	5,24566667	
t2464	49	1491,69995	#		189,522797	474,822842	5,29044278	
t2486	50	1492,40002	#		189,6026	475,045682	5,33477778	
t2508	50	1493,09998	#		189,682404	475,268483	5,37911333	
t2530	51	1493,90002	#		189,7612	475,523147	5,42288889	
t2552	51	1493,90002	#		189,839996	475,523147	5,46666444	
t2574	52	1495,30005	#		189,919006	475,968788	5,51055889	
t2596	52	1496,69995	#		189,998795	476,414391	5,55488611	
t2618	53	1497,40002	#		190,078796	476,637231	5,59933111	
t2640	53	1498,09998	#		190,158798	476,860033	5,64377667	
t2662	53	1497,40002	#		190,238998	476,637231	5,68833222	
t2684	54	1499,59998	#		190,317795	477,337498	5,73210833	
t2706	54	1500,30005	#		190,396805	477,560338	5,77600278	
t2728	55	1499,59998	#		190,475998	477,337498	5,81999889	
t2750	55	1501	#		190,555206	477,783139	5,86400333	
t2772	56	1501,69995	#		190,634796	478,00594	5,90822	
t2794	56	1501,69995	#		190,715393	478,00594	5,95299611	
t2816	57	1503,80005	#		190,795395	478,674422	5,99744167	
t2838	57	1503,09998	#		190,874207	478,451582	6,04122611	
t2860	57	1504,59998	#		190,952805	478,929047	6,08489167	
t2882	58	1504,59998	#		191,031998	478,929047	6,12888778	
t2904	58	1505,30005	#		191,111801	479,151887	6,17322278	
t2926	59	1505,30005	#		191,191803	479,151887	6,21766833	
t2948	59	1505,30005	#		191,272797	479,151887	6,262665	
t2970	60	1507,40002	#		191,351593	479,82033	6,30644056	
t2992	60	1506,69995	#		191,429993	479,59749	6,34999611	

# Anlagen

t3014	60	1508,09998	#	191,509201	480,043132	6,39400056	
				"Position"	Spannung	Dehnung	Weg
Zeitpunkt	Zeit_s	Kraft_N	Position_mm	Weg_F_mm	in [N/mm <sup>2</sup> ]	in [%]	s
t3080	62	1508,80005	#	191,748993	480,265972	6,52721833	
t3102	62	1509,59998	#	191,828201	480,520597	6,57122278	
t3124	63	1511	#	191,907806	480,966238	6,61544778	
t3146	63	1510,30005	#	191,986603	480,743437	6,65922389	
t3168	64	1511	#	192,065994	480,966238	6,70333	
t3190	64	1512,40002	#	192,145599	481,41188	6,747555	
t3212	64	1511	#	192,225204	480,966238	6,79178	
t3234	65	1512,40002	#	192,305801	481,41188	6,83655611	
t3256	65	1513,80005	#	192,385406	481,857521	6,88078111	
t3278	66	1513,09998	#	192,464996	481,634681	6,92499778	
t3300	66	1512,40002	#	192,543793	481,41188	6,96877389	
t3322	67	1515,30005	#	192,622604	482,334986	7,01255778	
t3344	67	1516	#	192,701797	482,557787	7,05655389	
t3366	68	1516,69995	#	192,781998	482,780589	7,10111	
t3388	68	1515,30005	#	192,861801	482,334986	7,145445	
t3410	68	1516	#	192,9422	482,557787	7,19011111	
t3432	69	1516,69995	#	193,021805	482,780589	7,23433611	
t3454	69	1516	#	193,100998	482,557787	7,27833222	
t3476	70	1516	#	193,180206	482,557787	7,32233667	
t3498	70	1518,09998	#	193,258606	483,226231	7,36589222	
t3520	71	1517,40002	#	193,337997	483,003429	7,40999833	
t3542	71	1518,80005	#	193,417999	483,449071	7,45444389	
t3564	71	1517,40002	#	193,498596	483,003429	7,49922	
t3586	72	1518,80005	#	193,578201	483,449071	7,543445	
t3608	72	1518,80005	#	193,657806	483,449071	7,58767	
t3630	73	1520,30005	#	193,736603	483,926536	7,63144611	
t3652	73	1519,5	#	193,815598	483,671872	7,67533222	
t3674	74	1521	#	193,894394	484,149337	7,71910778	
t3696	74	1518,80005	#	193,973999	483,449071	7,76333278	
t3718	75	1520,30005	#	194,054794	483,926536	7,80821889	
t3740	75	1521	#	194,134995	484,149337	7,852775	
t3762	75	1522,40002	#	194,214005	484,594978	7,89666944	
t3784	76	1521	#	194,293198	484,149337	7,94066556	
t3806	76	1522,40002	#	194,371796	484,594978	7,98433111	
t3828	77	1521,69995	#	194,451202	484,372138	8,02844556	
t3850	77	1522,40002	#	194,531204	484,594978	8,07289111	
t3872	78	1522,40002	#	194,611603	484,594978	8,11755722	
t3894	78	1522,40002	#	194,691406	484,594978	8,16189222	
t3916	79	1523,09998	#	194,770798	484,81778	8,20599889	
t3938	79	1524,5	#	194,849792	485,263421	8,24988444	
t3960	79	1523,80005	#	194,928207	485,04062	8,29344833	
t3982	80	1523,80005	#	195,007401	485,04062	8,337445	
t4004	80	1523,80005	#	195,087204	485,04062	8,38178	
t4026	81	1526	#	195,167801	485,740886	8,42655611	

# Anlagen

t4048	81	1523,80005	#	195,248398	485,04062	8,47133222	
				"Position"	Spannung	Dehnung	Weg
Zeitpunkt	Zeit_s	Kraft_N	Position_mm	Weg_F_mm	in [N/mm <sup>2</sup> ]	in [%]	s
t4114	82	1525,30005	#	195,485199	485,518085	8,60288833	
t4136	83	1525,30005	#	195,564606	485,518085	8,64700333	
t4158	83	1526	#	195,643799	485,740886	8,69099944	
t4180	84	1526	#	195,723801	485,740886	8,735445	
t4202	84	1526,69995	#	195,804001	485,963688	8,78000056	
t4224	85	1526	#	195,884003	485,740886	8,82444611	
t4246	85	1527,40002	#	195,963394	486,186528	8,86855222	
t4268	86	1526	#	196,042007	485,740886	8,91222611	
t4290	86	1526	#	196,121201	485,740886	8,95622278	
t4312	86	1526,69995	#	196,200607	485,963688	9,00033722	
t4334	87	1526,69995	#	196,280807	485,963688	9,04489278	
t4356	87	1526,69995	#	196,360596	485,963688	9,08922	
t4378	88	1526	#	196,440598	485,740886	9,13366556	
t4400	88	1526,69995	#	196,520203	485,963688	9,17789056	
t4422	89	1528,09998	#	196,599197	486,409329	9,22177611	
t4444	89	1527,40002	#	196,678207	486,186528	9,26567056	
t4466	90	1526,69995	#	196,757401	485,963688	9,30966722	
t4488	90	1528,09998	#	196,836807	486,409329	9,35378167	
t4510	90	1528,09998	#	196,916199	486,409329	9,39788833	
t4532	91	1528,80005	#	196,996201	486,63217	9,44233389	
t4554	91	1528,80005	#	197,076599	486,63217	9,48699944	
t4576	92	1528,80005	#	197,156403	486,63217	9,531335	
t4598	92	1528,09998	#	197,236206	486,409329	9,57567	
t4620	93	1527,40002	#	197,314804	486,186528	9,61933556	
t4642	93	1528,09998	#	197,3936	486,409329	9,66311111	
t4664	93	1528,80005	#	197,473007	486,63217	9,70722611	
t4686	94	1528,80005	#	197,552399	486,63217	9,75133278	
t4708	94	1528,80005	#	197,632996	486,63217	9,79610889	
t4730	95	1529,5	#	197,712997	486,854971	9,84055389	
t4752	95	1528,80005	#	197,792801	486,63217	9,88488944	
t4774	96	1528,80005	#	197,871796	486,63217	9,92877556	
t4796	96	1529,5	#	197,950806	486,854971	9,97267	
t4818	97	1528,09998	#	198,030197	486,409329	10,0167761	
t4840	97	1529,5	#	198,109406	486,854971	10,0607811	
t4554	91	1528,80005	#	197,076599	486,63217	9,48699944	
t4576	92	1528,80005	#	197,156403	486,63217	9,531335	
t4598	92	1528,09998	#	197,236206	486,409329	9,57567	
t4620	93	1527,40002	#	197,314804	486,186528	9,61933556	
t4642	93	1528,09998	#	197,3936	486,409329	9,66311111	
t4664	93	1528,80005	#	197,473007	486,63217	9,70722611	
t4686	94	1528,80005	#	197,552399	486,63217	9,75133278	
t4708	94	1528,80005	#	197,632996	486,63217	9,79610889	
t4730	95	1529,5	#	197,712997	486,854971	9,84055389	
t4752	95	1528,80005	#	197,792801	486,63217	9,88488944	

## Anlagen

t4774	96	1528,80005	#	197,871796	486,63217	9,92877556	
				"Position"	Spannung	Dehnung	Weg
Zeitpunkt	Zeit_s	Kraft_N	Position_mm	Weg_F_mm	in [N/mm <sup>2</sup> ]	in [%]	s
t4840	97	1529,5	#	198,109406	486,854971	10,0607811	
t4862	97	1529,5	#	198,188797	486,854971	10,1048872	
t4884	98	1529,5	#	198,268204	486,854971	10,1490022	
t4906	98	1529,5	#	198,348404	486,854971	10,1935578	
t4928	99	1530,19995	#	198,429199	487,077772	10,2384439	
t4950	99	1528,80005	#	198,508408	486,63217	10,2824489	
t4972	##	1528,09998	#	198,587006	486,409329	10,3261144	
t4994	##	1530,19995	#	198,666	487,077772	10,37	17,997802
t5016	##	1529,5	#	198,745407	486,854971	10,414115	
t5038	##	1528,80005	#	198,824997	486,63217	10,4583317	
t5060	##	1528,09998	#	198,904999	486,409329	10,5027772	
t5082	##	1527,40002	#	198,985199	486,186528	10,5473328	
t5104	##	1527,40002	#	199,064606	486,186528	10,5914478	
t5126	##	1526,69995	#	199,144196	485,963688	10,6356644	
t5148	##	1523,80005	#	199,224197	485,04062	10,6801094	
t5170	##	1516	#	199,304794	482,557787	10,7248856	
t5192	##	1500,30005	#	199,385605	477,560338	10,7697806	
t5214	##	1473,90002	#	199,465393	469,156949	10,8141072	
t5236	##	1438,19995	#	199,544403	457,793263	10,8580017	
t5258	##	1394	#	199,623199	443,723981	10,9017772	
t5280	##	1338,30005	#	199,704605	425,994136	10,9470028	
t5302	##	1269,09998	#	199,784393	403,967069	10,9913294	
t5324	##	1177,09998	#	199,864197	374,682559	11,035665	
t5346	##	1055,09998	#	199,944	335,848753	11,08	
t5368	##	204,699997	#	200,014999	65,1580327	11,1194439	

## Teil F – Anlage F1

### Untersuchung zum Messerverschleiß

Mittels dieses Versuchs soll der Verschleiß der Messer untersucht werden, in Abhängigkeit der Oberflächenrauheit ( $R_z$ ) der Messer. Aufgrund der notwendigen Zeit und des zu verbrauchenden Materials soll dieser Versuch lediglich eine Tendenz verdeutlichen anhand derer, spätere Versuche geplant werden können.

Zwei Messer werden für diesen Versuch verwendet. Beide bestehen aus dem gleichen Grundmaterial C60. Eines ist jedoch mittels PVD-Verfahren beschichtet wurden. Als Ziel dieser Beschichtung ist die Erhöhung der Standzeit des Messers bei gleich bleibender Oberflächengüte und Verringerung der Reibkraft zu nennen

Durchführung des Versuchs:

Der Versuch beginnt mit der Messung der Rauheit  $R_z$  für beide Messer (unbenutzt). Anschließend werden die Oberflächen unter dem Mikroskop betrachtet um visuelle Eindrücke erhalten zu können.

Um eine Tendenz, was das Verschleißverhalten angeht, zu erhalten müssen mehrere Messungen durchgeführt werden. Dies gestaltet sich in Form von 5 Versuchen, wobei zwischen jeden eine Messung der Oberflächenrauheit und eine optische Beurteilung mittels Mikroskop, erfolgen. Es werden je Versuch und Messer 4Kg Draht verarbeitet.

Verwendete Materialien:

Draht 1.4301 (Edelstahl X5CrNi18-10/X4CrNi18-10)

Messer (PVD-Beschichtet, unbeschichtet)

Messinstrument: TURBOWAVE Messplatz T8000 der Firma HOMMER-Werke

## Auswertung des Versuchs:

Auf den ersten beiden Diagrammen ist die Entwicklung, pro Messer und Kante, der Oberflächenrauheit zu erkennen. Diese Darstellung dient der Abschätzung, des Verschleißverhalten, der einzelnen Messer. Zusätzlich wurde eine optische Beurteilung der Kanten vorgenommen. Dazu wurde ein Mikroskop mit 40-facher Vergrößerung genutzt. Die zugehörigen Bilder sind den Diagrammen nachfolgend.

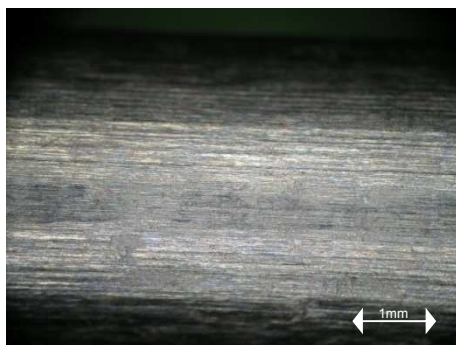
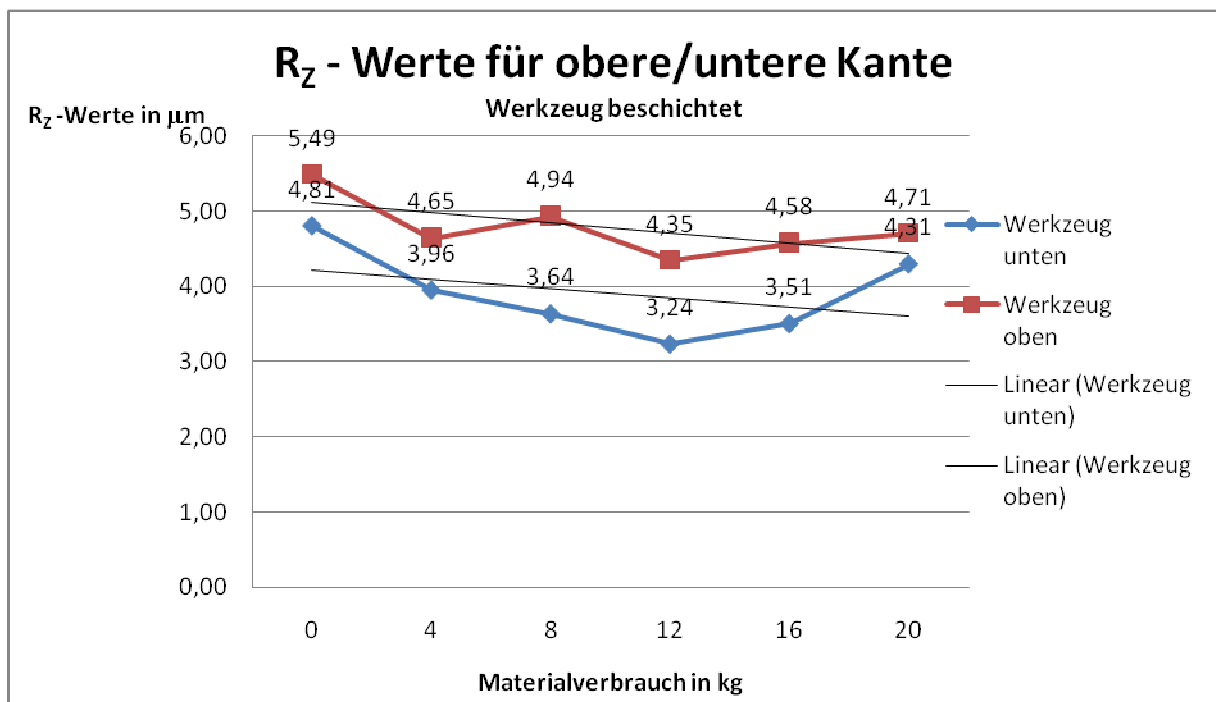


Abb. I

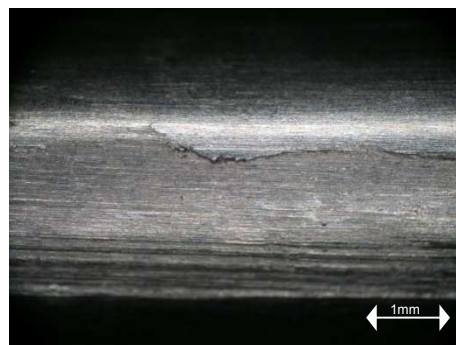


Abb. II

Auf Abb. I war das Messer unbenutzt und noch nicht im Arbeitsprozess gewesen. Wobei auf Abb. II ca. 20kg Material verarbeitet wurden und eine deutliche Abnutzung zu erkennen ist.



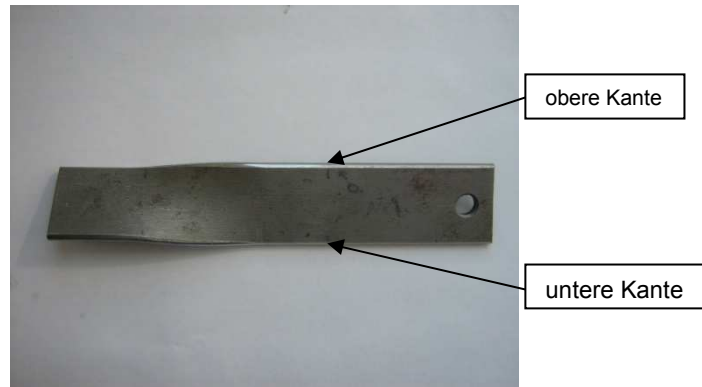


Abb. III

Auf Abb. III ist, zum besseren Verständnis, die Definition der oberen und unteren Kante dargestellt.

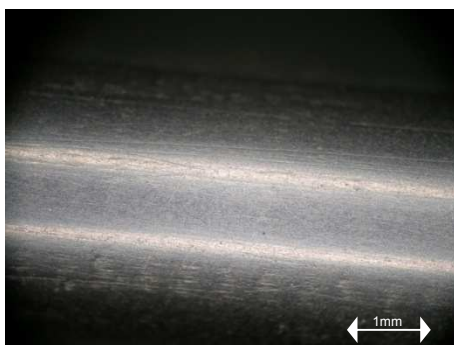
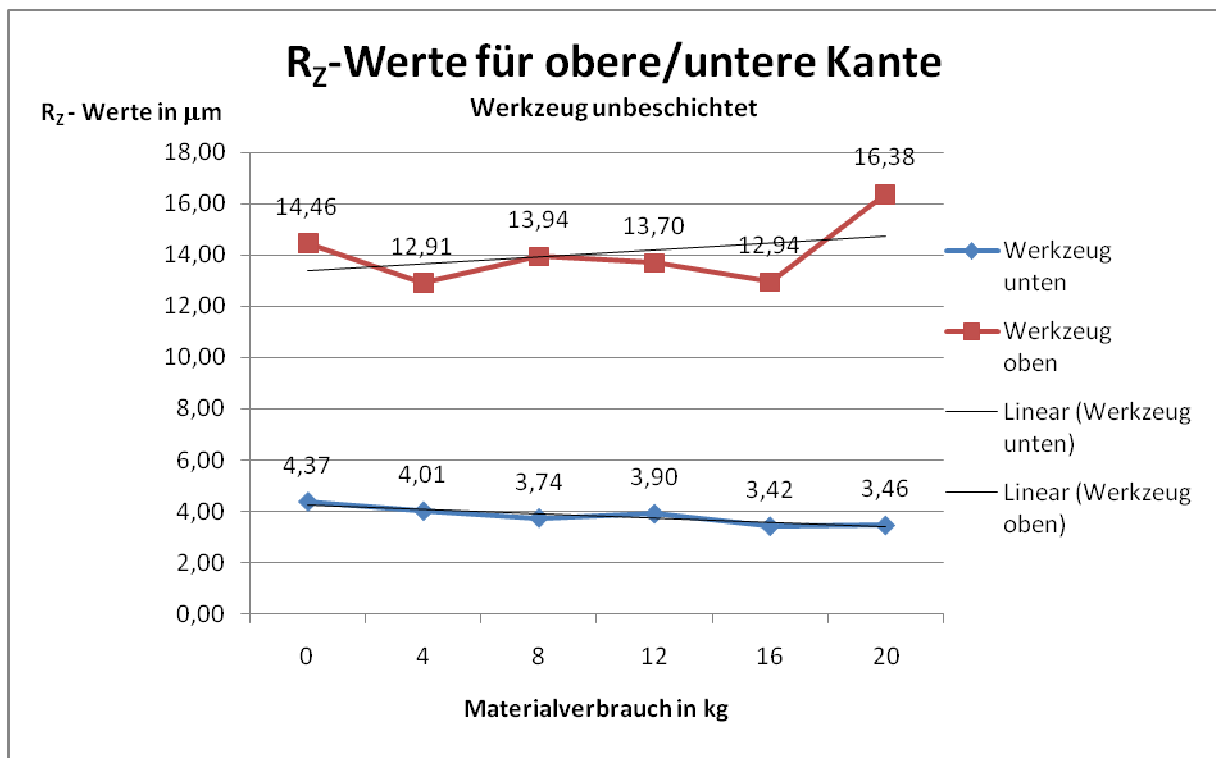


Abb. IV

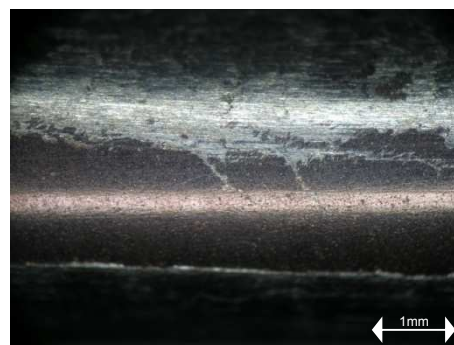
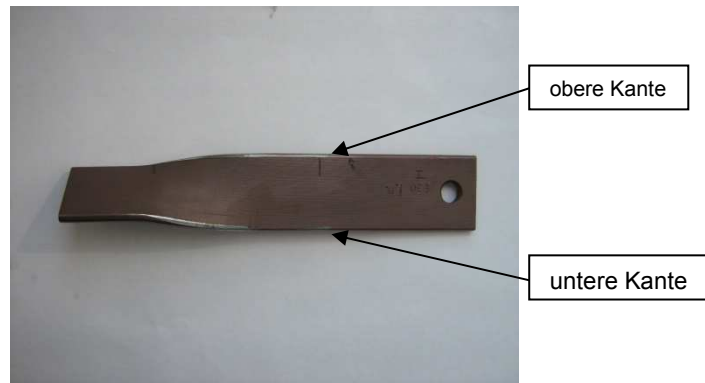
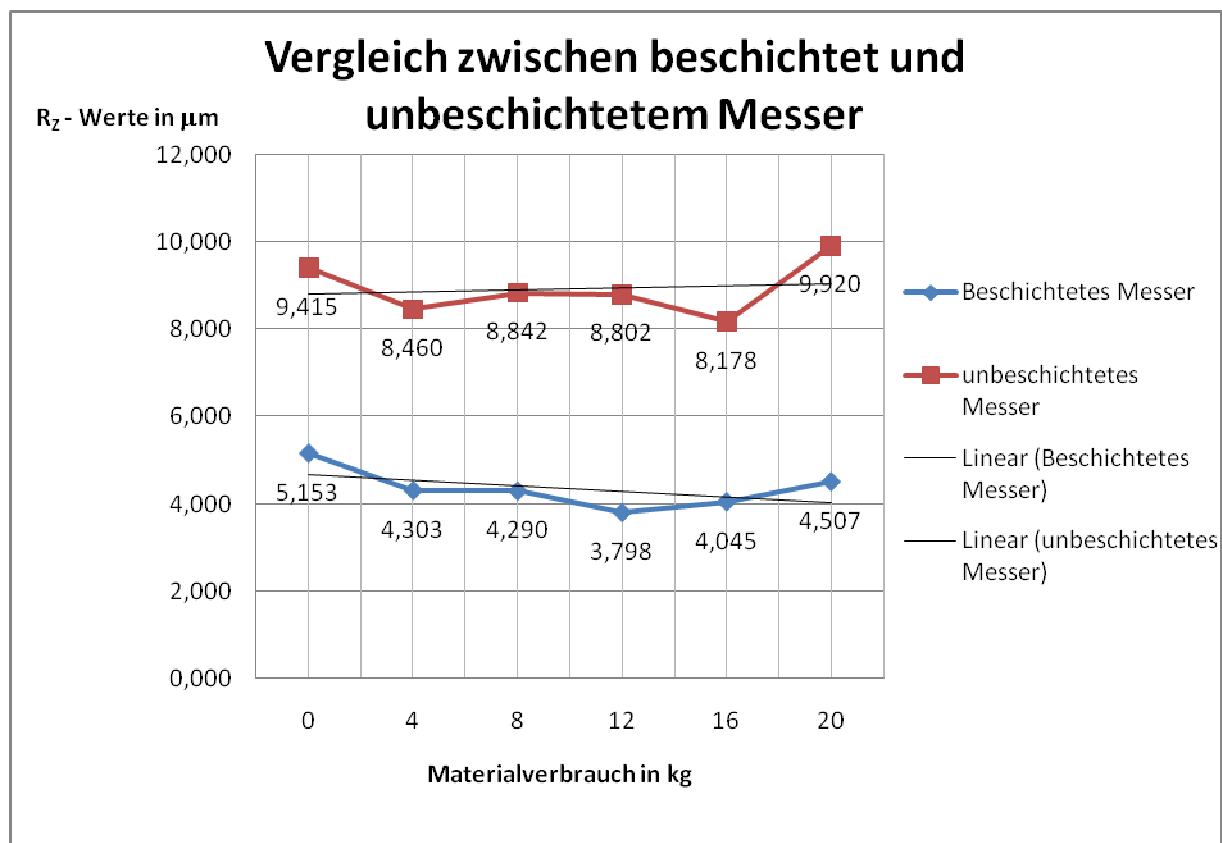


Abb. V

Auf den Abb. IV und V ist ebenfalls eine optische Beurteilung mittels Mikroskop durchgeführt wurden. Auch hier wurde ein 40-fache Vergrößerung genutzt. Der Materialverbrauch zwischen den einzelnen Bildern beträgt ebenfalls 20kg. Abnutzung



Um einen besseren Vergleich bezüglich des unterschiedlichen Verschleißverhaltens zu bekommen ist auf dem folgenden Diagramm eine Gegenüberstellung der beiden Diagramme erfolgt. Hierbei wurden die  $R_z$  – Werte je Messer und Messung zu einem Wert zusammengefasst.



Auf Grundlage dieses Verschleißversuchs, sind weitere und umfangreichere Tests durchzuführen. Dadurch sollte es möglich sein eine Tendenz bezüglich der Standzeit zu erhalten, und eine Aussage bezüglich des Verschleißes treffen zu können.

## **VIII. Eidesstattliche Erklärung**

Erklärung:

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Chemnitz, 13.08.2009

Unterschrift